



*Escuela Técnica Superior de  
Ingenieros de Caminos, Canales  
y Puertos.*

*UNIVERSIDAD DE CANTABRIA*



# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN DE LA AGITACIÓN EN EL INTERIOR DEL BUQUE DE ASALTO ANFIBIO “JUAN CARLOS I”

Trabajo realizado por:

*Ana Castellar Castellet*

Dirigido:

*Gabriel Díaz Hernández*

Titulación:

**Máster Universitario  
en Costas y Puertos**

Santander, septiembre de 2020

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**Agradecimientos:**

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi tutor Gabriel Díaz Hernández, por haber sacado tiempo siempre que ha sido necesario y ayudarme en todo lo posible, sin él la realización de este trabajo habría sido imposible.

En segundo lugar, dar las gracias a mi familia y a mi pareja, por apoyarme en todo y animarme siempre que ha sido necesario.

Quiero dar las gracias también a mis compañeros del máster por haber ido de la mano conmigo en este camino y haber conseguido, con una pandemia de por medio, que haya sido uno de los años más maravillosos de mi vida.

Finalmente, dar las gracias a mis amigas por haber sabido darme esos ratos de desconexión y cargarme las pilas para continuar.



## **RESUMEN:**

El buque "Juan Carlos I" es una embarcación que permite realizar operaciones anfibias, y uno de los problemas identificados que experimenta el buque en estas operaciones viene dado porque en la maniobra de atraque, acceso y salida de las lanchas de desembarco se han registrado complicaciones por la alta penetración del oleaje en el dique inundable.

El objetivo del presente trabajo ha sido desarrollar un gestor temprano-automático que proporcione la información necesaria al Capitán del buque "Juan Carlos I" y así poder plantear posibles puntos de fondeo y orientaciones alternativas y poder evitar altas penetraciones de oleaje en el interior del buque.

Para poder cumplir con el objetivo, se han llevado a cabo una serie de tareas las cuales pueden ser divididas en 3 secciones.

En primer lugar, se llevaron a cabo diferentes test de sensibilidad iniciales para poder cuantificar la validez del modelo MSP. Estos test de sensibilidad están formados por un estudio de amplificación, para estudiar la amplificación teórica que pueda darse en el interior del dique; un estudio comparativo de los procesos de agitación entre los modelos MSP y IH2VOF y finalmente, un estudio para evaluar los coeficientes de reflexión.

En segundo lugar, se realizó el montaje del modelo numérico final considerando los resultados de los test previos. Considerando el montaje final, se realizó la creación de un catálogo pre-ejecutado formado por 1258 estados de mar, para poder utilizarlo a posteriori en el sistema predictivo.

Finalmente, se realizó el montaje del sistema predictivo (forecast) para la cuantificación temprana de la agitación en el interior del buque "Juan Carlos I". El montaje, fue realizado considerando que la persona que utilice el sistema pueda escoger siempre la localización del buque y la orientación de este, para así, poder proporcionar una respuesta lo más realista posible.

Una vez realizadas todas las tareas necesarias para cumplir con el objetivo, se pudo concluir que para el presente trabajo el modelo MSP es suficientemente válido para poder resolver la problemática planteada, y por eso, fue posible cumplir con el resto de los objetivos planteados y desarrollar el sistema de predicción de la agitación en el interior del buque "Juan Carlos I". El sistema de predicción (forecast) proporciona los mapas de agitación para 72 horas de predicción, evolución de los inputs considerados para las 72 horas de predicción y la evolución de la altura de ola en 3 puntos de control en el interior del dique para todas las horas de predicción. Además, todos los resultados han sido recogidos en un HTML para que el Capitán o la tripulación pueda tener acceso a los resultados de forma simple y entendible.

## **ABSTRACT:**

The ship "Juan Carlos I" is a vessel that allows amphibious operations to be carried out, and one of the problems identified that the ship experiences in these operations is due to the complications recorded in the docking, access and exit maneuver of the landing boats caused by the high penetration of the waves in the vessel.

The objective of the present work has been to develop an early-automatic manager that provides the necessary information to the Captain of the ship "Juan Carlos I" thus being able to

propose possible anchoring points and alternative orientations allowing to avoid high wave penetrations inside the ship .

To meet the objective, a series of tasks have been carried out which can be divided into 3 sections.

First, different initial sensitivity tests were performed to quantify the validity of the MSP model. These sensitivity tests are made up of an amplification study, to study the theoretical amplification that may occur inside the vessel; a comparative study of the agitation processes between the MSP and IH2VOF models and finally, a study to evaluate the reflection coefficients.

In second place, the final numerical model was assembled considering the results of the previous tests. Using the final assembly, a pre-executed catalog made up of 1258 sea states was created, to be used later in the predictive system.

Finally, the predictive system (forecast) was assembled for the early quantification of agitation inside the ship “Juan Carlos I”. The assembly was carried out considering that the person using the system can always choose the location of the ship and its orientation, to provide the most realistic response possible.

Once all the tasks necessary to meet the objective had been completed, it was concluded that, for present work, the MSP model is sufficiently valid to be able to solve the problem raised, and therefore, it was possible to fulfill the rest of the objectives set and develop the system for predicting agitation inside the ship “Juan Carlos I”. The forecast system provides the agitation maps for 72 hours of prediction, evolution of the considered inputs for the 72 hours of prediction, and the evolution of the wave height in 3 control points inside the dike for the predicted hours. In addition, all the results have been compiled in HTML so that the Captain or the crew can access the results in a simple and understandable way.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVO.....	2
3.	MARCO TEÓRICO .....	3
3.1	BUQUE DE ASALTO ANFIBIO “JUAN CARLOS I” .....	3
3.2	COMPLEJIDAD FÍSICA .....	4
3.3	PROPUESTA NUMÉRICA .....	5
3.4	MÓDULO DE FORECAST .....	7
4.	METODOLOGÍA.....	7
4.1.	TEST 1 – ESTUDIO DE AMPLIFICACIÓN DEL OLEAJE DENTRO DEL DIQUE INUNDABLE .....	8
4.1.1.	<i>Metodología</i> .....	9
4.1.2	<i>Montaje numérico del dominio y batimetría</i> .....	9
4.1.2	<i>Forzamientos</i> .....	10
4.1.2	<i>Diseño de la malla numérica y ejecución del modelo</i> .....	11
4.1.3	<i>Resultados</i> .....	13
4.1.4	<i>Discusión y conclusiones</i> .....	15
4.2	TEST 2 – ANÁLISIS COMPARTIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN CON LOS MODELOS MSP – IH2VOF 16	
4.2.1	<i>Metodología</i> .....	16
4.2.3	<i>Resultados y discusiones</i> .....	26
4.3	TEST 3 – COEFICIENTES DE REFLEXIÓN .....	34
4.3.1	<i>Metodología</i> .....	34
4.3.2	<i>Resultados y Discusiones</i> .....	36
4.3.3	<i>Conclusiones</i> .....	37
5.	MONTAJE FINAL DEL MODELO MSP .....	37
5.1	ASPECTOS TÉCNICOS DEL MONTAJE FINAL .....	38
5.2	CASOS CONSIDERADOS PARA EL CATÁLOGO:.....	39
6	MONTAJE FORECAST .....	42
6.1	RESULTADOS FORECAST – EJEMPLO REAL .....	51
7.	CONCLUSIONES GENERALES .....	54
8.	LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO .....	55
9.	BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA.....	55
ANEXOS:	.....	56
1.	ANEXO I: TESTS PREVIOS MODELO MSP .....	56
2.	ANEXO 2: SCRIPTS REALIZADOS.....	76

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1. BUQUE "JUAN CARLOS I" JUNTO A VARIAS EMBARCACIONES TIPO LCM-I EN UNA OPERACIÓN ANFIBIA (WEB ARMADA ESPAÑOLA).....	1
FIGURA 2. BUQUE "JUAN CARLOS I" (WEB ARMADA ESPAÑOLA). ....	4
FIGURA 3. INTERIOR DEL BUQUE "JUAN CARLOS I" DESTACANDO LAS EMBARCACIONES ANFIBIAS (IDS – BUQUES ANFIBIOS. LAS REALIZACIONES DE NAVANTIA).....	4
FIGURA 5. EMBARCACIÓN SUPERCAT (WEB ARMADA ESPAÑOLA). ....	4
FIGURA 4. EMBARCACIÓN TIPO LCM-1E (WEB ARMADA ESPAÑOLA). ....	4
FIGURA 6. DOMINIO CONSIDERADO PARA LA MALLA DE PENÍNSULA Y BALEARES - PDE. (WEB PUERTOS DEL ESTADO) .....	7
FIGURA 7. BATIMETRÍAS Y CONTORNOS CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO DE AMPLIFICACIÓN.....	10
FIGURA 8. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN CONSIDERADOS PARA EL DOMINIO DE 400x400.....	11
FIGURA 9. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN CONSIDERADOS PARA EL DOMINIO DE 1000x1000.....	11
FIGURA 10. LOCALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL PARA EL DOMINIO DE 1000x1000. ....	12
FIGURA 11. LOCALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL PARA EL DOMINIO DE 400x400. ....	12
FIGURA 12. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN -- 400x400M – H = 150M – H = 1M. ....	13
FIGURA 13. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN -- 400x400M – H = 150M – H = 2M. ....	13
FIGURA 14. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 400x400M – H = 16M – H = 1M. ....	14
FIGURA 15. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 400x400M – H = 16M – H = 2M. ....	14
FIGURA 16. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 1000x1000M – H = 150M – H = 1M .....	14
FIGURA 17. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 1000x1000M – H = 150M – H = 2M .....	14
FIGURA 18. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 1000x1000M – H = 16M – H = 1M .....	15
FIGURA 19. RESULTADOS ESTUDIO AMPLIFICACIÓN - 1000x1000M – H = 16M – H = 2M .....	15
FIGURA 20. ESQUEMA CONFIGURACIÓN CONTROL 1 Y CONTROL 2 EN EL MODELO IH2VOF .....	18
FIGURA 21. MALLA, CALIDAD DE LA MALLA Y ZOOM DE LA MALLA PARA LOS CASOS H = 2 M (CONTROL 1). ....	19
FIGURA 22. MALLA, CALIDAD DE LA MALLA Y ZOOM DE LA MALLA PARA LOS CASOS H = 1 M (CONTROL 1). ....	19
FIGURA 23. MALLA, CALIDAD DE LA MALLA Y ZOOM DE LA MALLA PARA LOS CASOS H = 2 M (CONTROL 2). ....	20
FIGURA 24. MALLA, CALIDAD DE LA MALLA Y ZOOM DE LA MALLA PARA LOS CASOS H = 1 M (CONTROL 2). ....	20
FIGURA 25. POSICIÓN PUNTOS DE CONTROL - (CONTROL 1) - IH2VOF. ....	21
FIGURA 26. POSICIÓN PUNTOS DE CONTROL - (CONTROL 2) - IH2VOF. ....	21
FIGURA 27. BATIMETRÍA Y CONTORNO CONSIDERADOS PARA EL MODELO MSP "TEST 9". ....	24
FIGURA 28. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS MSP E IH2VOF EN UNA PRIMERA COMPARACIÓN.....	24
FIGURA 29. BATIMETRÍA Y CONTORNO CONSIDERADOS PARA EL MODELO MSP "TEST 10" (CANAL). ....	25
FIGURA 30. GEOMETRÍA TEST "CONTROL 1" - IH2VOF. ....	25
FIGURA 31. GEOMETRÍA TEST "CONTROL 2" - IH2VOF. ....	26
FIGURA 32. GEOMETRÍA TEST "MSP" .....	26
FIGURA 33. GEOMETRÍA TEST "MSP - CANAL" .....	26
FIGURA 34. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 1) .....	28
FIGURA 35. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 1) .....	28
FIGURA 36. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 3) .....	29
FIGURA 37. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 2) .....	29
FIGURA 38. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 2) .....	29
FIGURA 39. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 4) .....	30
FIGURA 40. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 3) .....	30

FIGURA 41. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 4) .....	30
FIGURA 42. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 5) .....	31
FIGURA 43. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 5) .....	31
FIGURA 44. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO COMPLETO - CASO 6) .....	31
FIGURA 45. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN (DOMINIO BUQUE - CASO 6) .....	32
FIGURA 46. METODOLOGÍA SEGUIDA PARA LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN.....	35
FIGURA 47. PLANO DEL BUQUE "JUAN CARLOS I" .....	38
FIGURA 48. REPRESENTACIÓN DEL BUQUE EN EL MONTAJE FINAL. ....	39
FIGURA 49. MONTAJE FINAL PARA EL ESTUDIO DE AGITACIÓN EN EL INTERIOR DEL BUQUE "JUAN CARLOS I" CON EL MODELO MSP.....	39
FIGURA 50. COMBINACIONES H-T CONSIDERADAS PARA EL CATÁLOGO. ....	40
FIGURA 51. DOMINIO CONSIDERADO PARA EL CATÁLOGO.....	40
FIGURA 52. DOMINIO ESPACIAL MONTAJE FORECAST. ....	42
FIGURA 53. PRIMERAS OPCIONES ZOOM MONTAJE FORECAST (NORTE-SUR).....	43
FIGURA 54. SEGUNDAS OPCIONES DE ZOOM PARA EL MONTAJE FORECAST (NORTE → OESTE/ESTE). ....	43
FIGURA 55. SEGUNDAS OPCIONES DE ZOOM PARA EL MONTAJE FORECAST (SUR → OESTE/ESTE). ....	43
FIGURA 56. EJEMPLO CAMBIO ORIENTACIÓN DEL BUQUE RESPECTO A LA POSICIÓN DE PARTIDA. ....	44
FIGURA 57. EVOLUCIÓN DESCARGA DE LA PREDICCIÓN DE OLEAJE EN EL CÓDIGO DEL MONTAJE FORECAST. ....	44
FIGURA 58. DOMINIO CONSIDERADO DESPUÉS DE APLICAR LA NUEVA ORIENTACIÓN DEL BUQUE. ....	45
FIGURA 59. EJEMPLO MAPA DE AGITACIÓN. ....	48
FIGURA 60. LOCALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL EN EL INTERIOR DEL BUQUE. ....	49
FIGURA 61. EVOLUCIONES VARIABLES CONSIDERADAS COMO INPUTS Y EVOLUCIÓN ALTURA DE OLA EN LOS PUNTOS DE CONTROL. ....	49
FIGURA 62. CONTENIDO HTML DEL PROYECTO. ....	50
FIGURA 63. CONTENIDO HTML DEL PROYECTO. ....	50
FIGURA 64. CONTENIDO HTML DEL PROYECTO. ....	50
FIGURA 65. ANIMACIÓN HTML CON LOS MAPAS DE AGITACIÓN PARA LAS 72 HORAS DE PREDICCIÓN. ....	50
FIGURA 66. LOCALIZACIÓN ESCOGIDA PARA EL EJEMPLO REAL. ....	51
FIGURA 67. BUQUE ORIENTADO A 315º RESPECTO AL NORTE. ....	51
FIGURA 68. BUQUE ORIENTADO A 45º RESPECTO AL NORTE. ....	51
FIGURA 69. BUQUE ORIENTADO A 135º RESPECTO AL NORTE. ....	52
FIGURA 70. MAPAS DE AGITACIÓN OBTENIDOS PARA EL EJEMPLO REAL. ....	52
FIGURA 71. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA ORIENTACIÓN DE 315º RESPECTO AL NORTE. ....	53
FIGURA 72. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA ORIENTACIÓN DE 45º RESPECTO AL NORTE. ....	53
FIGURA 73. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA ORIENTACIÓN DE 135º RESPECTO AL NORTE. ....	53

## **ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1. RESUMEN DE LOS TEST REALIZADOS PARA EL ESTUDIO DE AMPLIFICACIÓN. ....	9
TABLA 2. CASOS CONSIDERADOS PARA LOS TEST 1, 2, 3 Y 4. ....	11
TABLA 3. CASOS CONSIDERADOS PARA LOS TEST 5, 6, 7 Y 8. ....	11
TABLA 4. TIEMPOS COMPUTACIONALES DE MALLADO PARA CADA TEST CONSIDERADO.....	12
TABLA 5. CASOS PROPUESTOS PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN.....	17
TABLA 6. RESUMEN DE TEST PREVIOS AL MONTAJE ÓPTIMO DEL MODELO MSP. ....	21



TABLA 7. GEOMETRÍAS CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO DE AGITACIÓN CON LOS MODELOS IH2VOF Y MSP. ....	25
TABLA 8. TIEMPOS COMPUTACIONALES MODELO IH2VOF. ....	26
TABLA 9. TIEMPOS COMPUTACIONALES MODELO MSP. ....	27
TABLA 10. RESUMEN DE GEOMETRÍAS CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN. ....	35
TABLA 11. LOCALIZACIÓN DE LOS SENSORES EN EL DOMINIO PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN. ....	36
TABLA 12. TIEMPOS COMPUTACIONALES DE LOS CASOS CONSIDERADOS. ....	36
TABLA 13. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN OBTENIDOS PARA LOS CONTORNOS DEL BUQUE. ....	37
TABLA 14. EJEMPLOS CATALOGO PRE-EJECUTADO. ....	41
TABLA 15. OPCIONES CONSIDERADAS DEL CATÁLOGO PARA EL EJEMPLO PROPUESTO. ....	46
TABLA 16. SELECCIÓN DEL CASO MÁS SIMILAR CALCULANDO LA DIFERENCIA DE LAS DIFERENTES VARIABLES. ....	47
TABLA 17. CÁLCULO DISTANCIA ENTRE ÁNGULOS PARA EL EJEMPLO PROPUESTO. ....	48
TABLA 18. VALORES DE H EN LOS PUNTOS DE CONTROL PARA LAS 3 ORIENTACIONES CONSIDERADAS. ....	54

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Sistema Integrado de Apoyo Automático METeo-Oceanográfico para Operaciones Marítimas (SIAAMETOC-OM, en actual desarrollo), tiene como finalidad la identificación, análisis y explotación de datos meteo-oceanográficos disponibles actualmente a nivel mundial, y su adaptación/interpretación automática para el apoyo a misiones y operaciones marítimas del Ministerio de Defensa, de manera fiable, eficiente y realista. Se trata de un proyecto a 2 años vista, financiado por el Ministerio de Defensa a ser realizado por el Instituto de Hidráulica de Cantabria (IHCantabria).

En este trabajo, se lleva a cabo el desarrollo preliminar de uno de los módulos que integran al proyecto general. Concretamente, aborda el paquete de trabajo (WP) número 4, en relación al desarrollo de un sistema de predicción para el interior del buque de asalto anfibio “Juan Carlos I”, un buque perteneciente a la flota de la Armada Española.

El buque “Juan Carlos I” es una embarcación que permite realizar operaciones anfibias, es decir, habilita el despliegue de la Fuerza de desembarco desde el buque de asalto hasta las zonas asignadas en tierra, asegurando el desembarco de tropas, equipos y abastecimiento de formaciones adecuadas. En la Figura 1 se puede observar el buque “Juan Carlos I” de fondo, acompañado por dos embarcaciones anfibias.



*Figura 1. Buque "Juan Carlos I" junto a varias embarcaciones tipo LCM-I en una operación anfibia (Web Armada Española).*

Uno de los problemas identificados que experimenta el buque en las operaciones anfibias anteriormente mencionadas, viene dado porque en la maniobra de atraque, acceso y salida de las lanchas de desembarco se han registrado complicaciones por la alta penetración del oleaje en el dique inundable. Al parecer, el problema de la penetración del oleaje en el interior del buque se fomenta por la relación entre el oleaje exterior (magnitud, periodo y dirección) y la orientación del buque en la zona de fondeo de dicha embarcación.

En dichas ocasiones, cuando se da una alta penetración del agua en el interior del buque, el agua interacciona con los elementos verticales de la dársena interior o “dique” tal cual lo denominan los propios oficiales de Marina, dándose por tanto, sobre agitaciones del oleaje en las maniobras de atraque de las lanchas, oleaje que se proyecta en forma de rebase en la rampa interior que

incluso han llegado a proyectar vehículos hacia la parte superior del dique, e incluso llegando a poner en peligro la seguridad de los oficiales en esa zona. Además, el despliegue de la compuerta puede verse interrumpido y/o abortado ante determinadas condiciones del oleaje exterior.

Por todo ello, el proyecto en su WP4 busca desarrollar una herramienta/gestor temprano-automático que permita al capitán de la embarcación tomar las decisiones pertinentes en cuanto a posibles puntos de fondeo alternativo y a posibles orientaciones de la embarcación.

La idea final es generar una herramienta útil que proporcione al capitán del buque, información veraz y predictiva del oleaje en la zona exterior al buque y en la zona interior, dando así información de la agitación que se produce en el interior del buque, de manera predictiva y fiable.

La solución de este complejo sistema de interacción del oleaje con una estructura flotante semi-abierta se debe abordar, por lo tanto, con las herramientas numéricas adecuadas que permitan (en la medida de lo posible) la evaluación de este singular fenómeno de penetración y agitación de oleaje. Para ello, se propone como primera opción el uso de un modelo de agitación de oleaje basado en la aproximación elíptica de las ecuaciones de la pendiente suave (modelo MSP, desarrollado por IHCantabria) como herramienta principal a ser empleada.

No obstante, y dado que el modelo de agitación MSP se puede ver fácilmente extralimitado en sus hipótesis de uso ante una configuración de alta complejidad, el presente TFM se dedica a validar el comportamiento de este modelo con una herramienta que, a priori, está pensada para poder resolver mejor este sistema físico: el modelo IH2VOF (Desarrollado por IHCantabria), que resuelve el flujo tridimensional en un canal numérico de oleaje.

Es conveniente comentar que el presente TFM se ha dedicado, en gran porcentaje a realizar distintas pruebas de validación y sensibilidad entre ambos modelos, con el objetivo de encontrar la mejor configuración posible para el estudio y el montaje final con el modelo MSP, descartando *de facto* el uso de modelos más sofisticados (tipo CFD, IH2VOF, IHFOAM (Desarrollado por IHCantabria), etc.) para su explotación generalizada dentro del proyecto, especialmente debido a las grandes dimensiones espaciales que el estudio requiere vs. Los tiempos computacionales que condicionan el desarrollo y entrega del proyecto.

Una vez cuantificado el comportamiento del modelo MSP, con base en la finalidad del WP4 comentada anteriormente, se evaluarán las incertidumbres inherentes a su uso, para finalmente poder generar un catálogo de oleaje contemplando todas las combinaciones de forzamiento (oleaje incidente) y orientaciones de la embarcación.

Finalmente, con dicho catálogo precocinado en la fase anterior, se generará el producto final en forma de herramienta de alerta temprana o forecast, para que el capitán del buque pueda tomar decisiones sobre la posición, la orientación y los tiempos de fondeo en cualquiera de sus maniobras de desembarco anfibio, dentro de un rango temporal predictivo de 72h.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es desarrollar un gestor temprano-automático que proporcione la información necesaria a la tripulación del buque “Juan Carlos I” para así poder plantear posibles puntos de fondeo y orientaciones alternativas y poder evitar altas penetraciones de oleaje en el interior del buque.

Para cumplir con este objetivo general, se definen una serie de objetivos/tareas secundarias.

1. Realizar diferentes test de sensibilidad inicial para poder cuantificar la validez del modelo MSP y garantizar un correcto uso y montaje del modelo para la realización del catálogo. Para ello se proponen 3 estudios controlados: i) En primer lugar, un primer estudio de amplificación para estudiar la amplificación teórica que pueda darse en el interior del dique, ii) un segundo estudio para comparar los procesos de propagación y agitación entre los modelos MSP y IH2VOF, y iii) un tercer estudio para evaluar los coeficientes de reflexión que el buque imprime al oleaje que interactúa con su casco exterior e interior.
2. Realizar el montaje del modelo numérico final, teniendo en cuenta una primera versión del sistema con oleaje multidireccional y monocromático, todo ello considerando los resultados obtenidos en los test previos.
3. Realizar el montaje del sistema predictivo (forecast) para la cuantificación temprana de la agitación en el interior del buque “Juan Carlos I”. En este último punto es en el que se genera la herramienta de usuario para el capitán del buque, proporcionando de forma ágil, sencilla y veraz, la información de la agitación en el interior de este en función de su localización y su orientación.

### 3. MARCO TEÓRICO

El objetivo de este apartado es poder organizar y aclarar algunos conceptos o ideas previas para poder entender mucho mejor el trabajo que se presenta. Para ello, se realizan varios subapartados con información de algunos aspectos importantes.

En primer lugar, se presenta un apartado sobre el buque “Juan Carlos I”. En este, se describen sus características generales y algunas más específicas que han sido consideradas en el desarrollo del trabajo.

En segundo lugar, se expone la metodología general planteada en el trabajo en relación a justificar el uso de los modelos considerados para las simulaciones generales.

Finalmente, se ha realizado un último apartado con relación al diseño y montaje del sistema operacional.

#### 3.1 BUQUE DE ASALTO ANFIBIO “JUAN CARLOS I”

El buque anfibio portaaviones “Juan Carlos I” es un buque multipropósito y el mayor buque de guerra construido en España. Su denominación OTAN es LHD (Landing Helicopter Dock). Toma su nombre del rey Don Juan Carlos I. Supone una herramienta para la Armada para garantizar la capacidad de respuesta e influencia global a disposición del poder político, en apoyo a la creciente proyección internacional de España (*Web Armada Española, Gobierno de España*).



Figura 2. Buque "Juan Carlos I" (Web Armada Española).

El LHD dispone de un dique de 69.3 m de eslora y 16.8 de manga con una puerta de 16,8 x 11,5 m. Tiene capacidad simultánea para cuatro embarcaciones de desembarco tipo LCM 1E y cuatro Supercat. El buque puede disponer de unidades Supercat adicionales en el dique (sobre las LCM 1E) y/o en el garaje de vehículos y/o material pesado de detrimento de la capacidad de carga de vehículos. (IDS – Buques Anfibios. Las realizaciones de Navantia).

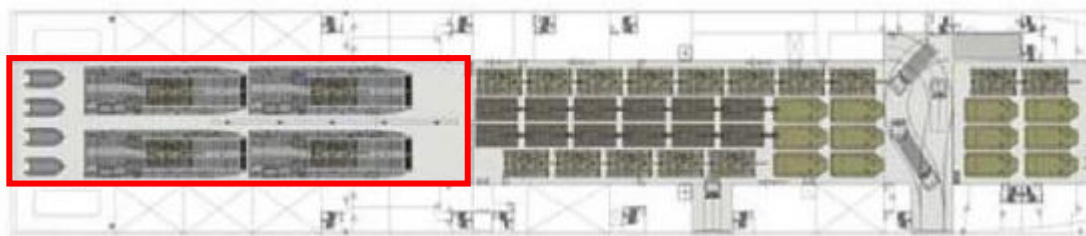


Figura 3. Interior del buque "Juan Carlos I" destacando las embarcaciones anfibias (IDS – Buques Anfibios. Las realizaciones de Navantia).



Figura 4. Embarcación tipo LCM-1E (Web Armada Española).



Figura 5. Embarcación Supercat (Web Armada Española).

En la Figura 3 se muestra un plano donde se puede observar la zona del dique que es donde se encuentran las embarcaciones de tipo LCM-1E, la cual se puede observar en la Figura 4 y las embarcaciones de tipo Supercat, la cual se puede observar en la Figura 5.

### 3.2 COMPLEJIDAD FÍSICA

El problema físico que este estudio intenta resolver se asemeja en gran parte al problema conocido como agitación portuaria, si se parte de la idea básica que un puerto es un volumen de agua semi-abrigado con suficiente calado y amplitud para proporcionar un refugio adecuado. No obstante, esta primera definición general, se aleja si se trata de una dársena interior

embebida en una estructura flotante como es el caso del del buque “Juan Carlos I”, lo cual añade complejidad al sistema físico a analizar.

En el momento en que la compuerta exterior del buque (en popa) se abre, el oleaje puede acceder al interior, y, por lo tanto, la dársena o dique interior comienzan a comportarse de forma análoga a un puerto, permitiendo la entrada y salida de embarcaciones. Como se ha comentado, el problema puede resultar a simple vista similar, pero con importantes variaciones físicas que hacen de este caso algo singular.

Adicionalmente y siguiendo con la analogía con un puerto tradicional, este se diseña con una orientación de bocana/dique de abrigo principal óptima que aporte la mayor protección ante las direcciones modales de oleaje en el exterior. En contraparte, para un buque fondeado en cualquier punto del océano, la orientación de su bocana/rampa dependerá de la deriva final que el buque adopte ya sea de forma pasiva (sin ayuda del motor) o de manera activa (con la acción deliberada del motor para modificar su orientación). Esta variabilidad imprime complejidad al sistema de agitación que se debe caracterizar, y supone una de las mayores incertidumbres por parte del Capitán en su protocolo de toma de decisiones. Concretamente a la hora de orientar su embarcación en una maniobra de desembarco, es decir, saber dónde, con qué orientación y cuál va a ser la variación del oleaje dentro de la dársena a lo largo de toda la maniobra. Actualmente, la Armada Española no dispone de ninguna herramienta o gestor que les ayude a decidir en qué momento deben abrir la compuerta, donde es el punto óptimo de fondeo y con qué orientación deben colocar su embarcación para minimizar el impacto y efectos de la penetración del oleaje.

Y finalmente, posiblemente la diferencia más destacada entre los puertos tradicionales y el puerto-buque en cuestión, radica en la variable batimétrica o profundidad disponible. Cualquier puerto tradicional se encuentra localizado en costa o cercano a ella, por tanto, la profundidad decrece de forma más o menos progresiva, pero en resumen se trata de un decrecimiento continuo y con cotas finitas (de aguas intermedias a reducidas). Mientras que la dársena flotante dentro del buque puede presentar profundidades más o menos constantes de 2 m, dentro de un dominio marítimo (zona de fondeo del buque) que puede presentar profundidades de decenas a cientos de metros. Esta característica física del problema a resolver es la que mayor problema puede llegar a derivar con soluciones numéricas promediadas en vertical (como el modelo MSP).

### 3.3 PROPUESTA NUMÉRICA

Todo estudio de ingeniería ya bien sea en la costa o en mar adentro, requiere información de las condiciones de oleaje en la región de interés, pero normalmente las características del oleaje se recogen lejos de costa y es necesario transferir esa información en alturas de ola y direcciones del oleaje a la región de estudio (Liu & Losada, 2002). Aquí es donde entra el papel de los modelos numéricos. Hoy en día existen varias familias de modelos numéricos, aunque cada una de estas familias se utilice para determinadas aplicaciones. Cada familia de modelos numéricos tiene unas propiedades inherentes, por ejemplo, que ecuaciones resuelven, que procesos físicos son o no capaces de resolver o qué tipo de eficiencia presentan.

La selección del tipo o familia de modelo más adecuado para el estudio debe responder a distintas condicionantes, tanto físicas como funcionales.

Con respecto a los procesos físicos relevantes involucrados en el problema, se pueden mencionar los siguientes: la propagación de oleaje, la interacción con una estructura cuasi-

vertical, la penetración en la dársena y asomeramiento por cambio abrupto de la profundidad y la reflexión parcial desde los contornos interiores, así mismo, procesos y tales como la generación de súper-armónicos por el cambio batimétrico y la transferencia del oleaje por debajo de la embarcación se pueden considerar efectos de menor importancia para los objetivos el proyecto.

Con respecto a los procesos funcionales, se desea que la herramienta numérica pueda resolver la propagación y transformación del oleaje en un dominio de cientos de metros, con un detalle suficiente en la malla numérica para poder perfilar adecuadamente la geometría del buque, además de poder ejecutar oleaje irregular con agilidad numérica debido a que se desea contar con un número importante de estados de mar pre-ejecutados que darán servicio al sistema de predicción final, todo ello en una ventana disponible de desarrollo de proyecto de pocos meses.

En otras palabras, el estudio requiere un modelo que propague ágilmente el oleaje sobre contornos y batimetrías reales, dentro de dominios de cientos de metros, con la capacidad de transformar el oleaje (refractarlo, asomerarlo, reflejarlo, difractarlo), hacerlo interactuar con estructuras semi-reflejantes y disiparlo por efectos de fricción y rotura del oleaje por fondo adecuadamente.

Por lo tanto y con base en lo comentado anteriormente, el modelo MSP parece, *a priori*, el modelo más apropiado para llevar a cabo las simulaciones necesarias en el presente estudio, partiendo del hecho que pertenece a la familia de modelos que (posiblemente) sea la más utilizada en estudios de agitación portuaria a nivel mundial y que supone el punto de compromiso entre la complejidad de procesos físicos a resolver y la agilidad para llevarlo a cabo.

Este tipo de modelo promediado en vertical (2DH) y que se basa en la aproximación elíptica de la pendiente suave (MSE), permite en uso de mallas no estructuradas, es decir, mallas resueltas bajo un esquema de elementos finitos, con el objetivo de perfilar con precisión los contornos y batimetrías. Este tipo de modelos son capaces de resolver en un dominio numérico bidimensional, los procesos lineales de refracción, difracción, asomeramiento y reflexión (total y parcial) y los procesos de disipación de energía del flujo por fricción y rotura del oleaje.

Concretamente el modelo numérico MSP, se basa en la aproximación elíptica de las ecuaciones de pendiente suave, propuestas originalmente por Berkhoff (1972, 1976). En este caso, era necesario un modelo que fuese capaz de asimilar oleaje multidireccional, tanto monocromático como espectral (en este TFM a manera de estudio preliminar solo se haya considerado oleaje monocromático). Además, el modelo MSP es un modelo que presenta un coste computacional medio-bajo y presenta una alta estabilidad numérica en comparación a otros modelos similares.

No obstante, y como es de suponer, el modelo numérico MSP presenta limitaciones cuando se desea aplicar a una realidad física tan compleja como la que el presente estudio plantea, es decir, una situación que probablemente lleve el modelo a su límite conceptual, numérico y funcional. Por ello, se ha sugerido emplear un segundo modelo numérico (modelo IH2VOF) o modelos tipo RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) que, por las ecuaciones que resuelve, puede llegar a gestionar de forma más adecuada la interacción del oleaje con la estructura flotante, con la desventaja que es un modelo en canal numérico (2DV) y con unos requerimientos computacionales elevados.

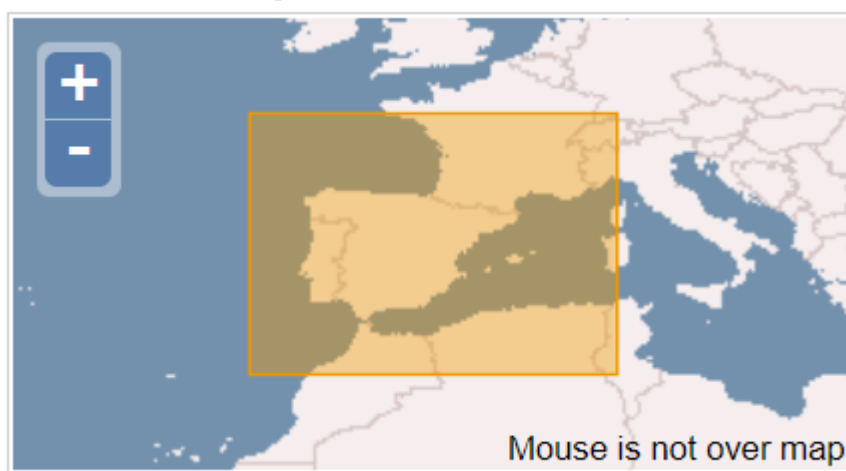
El uso del modelo IH2VOF, a manera de laboratorio numérico de control, se justifica para poder validar los resultados obtenidos con el modelo numérico MSP.

Es por todo esto, que en el presente trabajo se han realizado varios test para comprobar la validez del modelo MSP para resolver el caso planteado.

### 3.4 MÓDULO DE FORECAST

En este trabajo, y para ejemplificar el montaje del sistema operacional o forecast, se ha considerado a Puertos del Estado como proveedor de las predicciones climáticas. Puertos del Estado ofrece un gran catálogo de datos meteo-oceanográficos con distintas áreas o regiones en función de cada tipo de datos a consultar.

Para el presente estudio se han utilizado los datos de predicción de oleaje a escala regional, concretamente aquella que cubre el dominio de “Península y Baleares”, el cual se puede observar el dominio considerado en la Figura 6.



*Figura 6. Dominio considerado para la malla de Península y Baleares - PdE. (Web Puertos del Estado)*

En este caso, la predicción que se descarga para una localización específica cubre un dominio temporal de 72 horas con intervalos de 1 hora.

Para obtener los datos de predicción se ha realizado con script con Matlab® el cual se puede consultar en el Anexo 2.

Es importante destacar que la arquitectura del sistema, su diseño, desarrollo, flujo de tareas y montaje final es independiente del proveedor que se decía emplear, es decir, el sistema es absolutamente relocalizable.

## 4. METODOLOGÍA

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, el presente trabajo debe proporcionar una herramienta de ayuda al capitán del buque “Juan Carlos I”, para que le apoye en su toma de decisiones, con el objetivo de reducir la incertidumbre en relación a la agitación en el interior del buque. Todo ello bajo un enfoque predictivo.



Para poder cumplir con el objetivo principal, se ha decidido emplear el modelo MSP para los estudios de agitación. No obstante, las limitaciones inherentes del modelo MSP ante una configuración física de alta-complejidad como la que aquí se plantea puede llegar a desvirtuar los resultados de manera importante.

Por este motivo y para averiguar hasta qué punto se puede emplear el modelo MSP de cara a resolver el problema de forma eficiente y correcta, se han realizado varios test-control que se exponen a continuación:

- Test 1. Estudio de amplificación del oleaje en el interior del dique inundable. Este estudio se realiza con el objetivo de evaluar la amplificación de un grupo controlado de ondas libres que interactúan en el interior del buque considerando un rango de periodos. En otras palabras, se propone averiguar los modos naturales de oscilación de la dársena interior del buque bajo la acción de ondas de gravedad (en el rango del oleaje). Este primer test, ha supuesto el planteamiento iterativo de diferentes geometrías de montaje y distintos casos para poder conocer finalmente, cuáles son los periodos que provoquen esas amplificaciones, y por lo tanto, conocer de primera mano aquellas frecuencias que pueden suponer una especial sobre-agitación dentro de la dársena.
- Test 2. Análisis comparativo de los procesos de agitación con los modelos MSP y IH2VOF. Se proponen una serie de ensayos teóricos y controlados con el modelo IH2VOF, para poder analizar la respuesta del modelo MSP y estudiar hasta qué punto el modelo MSP consigue proporcionar buenos resultados para este estudio, bajo qué circunstancias de montaje y que incertidumbre general se puede llegar a tener a la hora de explotar el modelo MSP de forma masiva para la creación posterior del catálogo de propagaciones/agitaciones.
- Test 3. Estudio de coeficientes de reflexión. Este estudio se ha llevado a cabo con el objetivo de cuantificar los coeficientes de reflexión que presentan los diferentes contornos del buque que puedan intervenir en los procesos de agitación del oleaje en el interior del buque. Para poder obtener dichos coeficientes se ha empleado el modelo IH2VOF. Una vez se conozca el valor de estos, serán los coeficientes que se aplicarán al contorno del buque en el montaje final con el modelo MSP.

Una vez se lleven a cabo todos los test necesarios, será posible cuantificar la fiabilidad del modelo MSP para llevar a cabo este estudio de agitación del oleaje en el interior de un elemento flotante como el buque JCI.

A continuación, se presentan los detalles de cada uno de los test que se han realizado en el trabajo, desglosando de forma detallada los contenidos de: introducción, metodología, resultados, discusiones y conclusiones para cada uno de ellos.

#### 4.1. TEST 1 – ESTUDIO DE AMPLIFICACIÓN DEL OLAJE DENTRO DEL DIQUE INUNDABLE

El primer test que se ha realizado en este trabajo ha sido un estudio de amplificación, donde se han evaluado la respuesta de la dársena interior ante la acción de oleaje regular con amplitud unitaria para periodos desde 5 hasta 30 s. De esta forma, se evalúa qué periodos pueden llegar a sobre-amplificar la agitación en el interior del buque.

#### 4.1.1. Metodología

Por ser las primeras ejecuciones del estudio y con la idea de poder adquirir sensibilidad en cuanto a tamaño del dominio, altura de ola incidente y calados disponibles, se propone las siguientes combinaciones de montaje numérico para el modelo MSP:

- Comparación de 2 alturas de ola incidentes diferentes (1 m y 2 m).
- Comparación de 2 dominios diferentes (400 x 400 m y 1000 x 1000 m).
- Comparación de 2 calados diferentes en el dominio, a excepción del calado del dique interior que siempre se mantiene en 2 metros (150 m y 16 m).

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de las pruebas a realizar para el test de amplificación. (Tabla 1)

*Tabla 1. Resumen de los test realizados para el estudio de amplificación.*

TEST	H INCIDENTE	DOMINIO	CALADO
TEST_AMP_1	1	400 x 400	150
TEST_AMP_2	1	400 x 400	16
TEST_AMP_3	1	1000 x 1000	150
TEST_AMP_4	1	1000 x 1000	16
TEST_AMP_5	2	400 x 400	150
TEST_AMP_6	2	400 x 400	16
TEST_AMP_7	2	1000 x 1000	150
TEST_AMP_8	2	1000 x 1000	16

A continuación, se presentan los diferentes trabajos de montaje numérico, ejecución y análisis de resultados para el análisis de amplificación del oleaje dentro del dique inundable.

#### 4.1.2 Montaje numérico del dominio y batimetría

El montaje de la batimetría y el contorno ha sido realizado mediante rutinas programadas en Matlab® siguiendo los pasos que a continuación se describen:

- a) Se crea el dominio espacial definiendo las dimensiones que van a ser utilizadas.
- b) Se añade la tercera dimensión, siendo esta el calado del dominio.
- c) Se crea el contorno que se utilizará posteriormente en el modelo numérico. Para ello, se definen aquellos puntos del dominio (nodos) que estarán unidos delimitando la zona de estudio, considerando así el menor número de nodos posibles.
- d) Se realiza un cambio en la batimetría en el área interior del dique a 2m.

Tras realizar los pasos anteriores, se obtienen los montajes del dominio numérico para cada uno de los test a realizar (ver Figura 7).

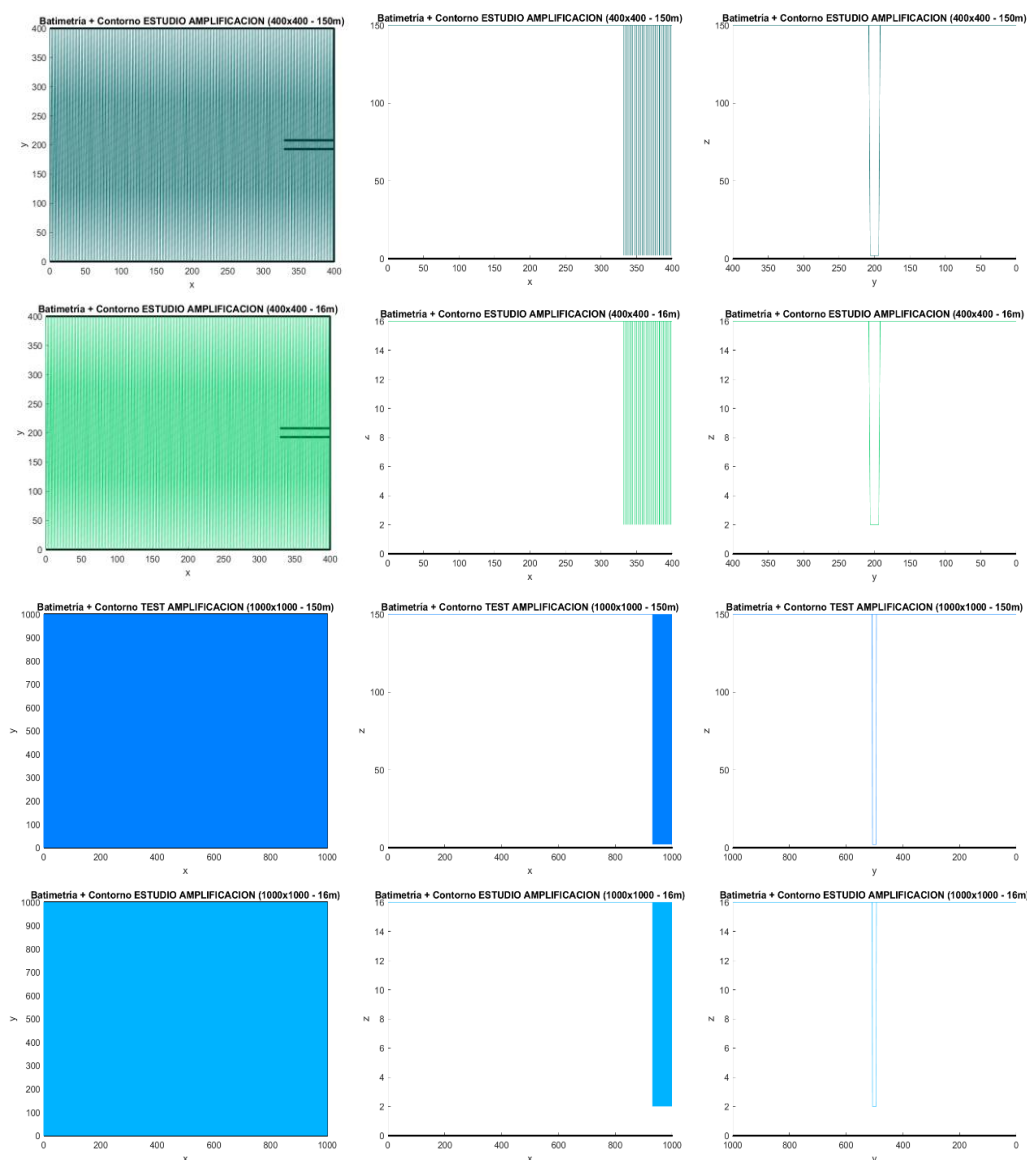


Figura 7. Batimetrías y contornos considerados para el estudio de amplificación.

#### 4.1.2 Forzamientos

La confección del archivo de forzamiento para el modelo consiste en la creación de un fichero un Excel compuesto por 3 hojas con el siguiente orden y contenidos:

- Hoja 1: Se incluye la coordenada del punto de generación de oleaje, que en este caso será en  $X = 0$  y en  $Y$  a medio dominio.
- Hoja 2: Se presenta la información asociada a cada caso, considerando: Fecha, Altura de Ola, Periodo, Dirección, Nivel de Marea, Información espectral (Gama y Sigma), y finalmente un identificador de cada caso.
- Hoja 3: Se da la información de si el modelo debe considerar rotura por fondo o no para cada uno de los casos. Para el test de amplificación no se ha considerado la rotura por fondo dado que el objetivo es verificar la amplificación teórica.

Las tablas 2 y 3 muestran la apariencia de la segunda hoja del archivo Excel empleado como forzamiento en el modelo MSP para los casos 1 a 4 y 5 a 8 respectivamente.

Tabla 2. Casos considerados para los test 1, 2, 3 y 4.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	5,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	1,000	6,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_2
2011	7	1	13	0	0	1,000	7,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_3
2011	7	1	14	0	0	1,000	8,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_4
2011	7	1	15	0	0	1,000	9,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_5
2011	7	1	16	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_6
2011	7	1	17	0	0	1,000	11,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_7
2011	7	1	18	0	0	1,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_8
2011	7	1	19	0	0	1,000	13,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_9
2011	7	1	20	0	0	1,000	14,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_10
2011	7	1	21	0	0	1,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_11
2011	7	1	22	0	0	1,000	16,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_12
2011	7	1	23	0	0	1,000	17,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_13
2011	7	2	0	0	0	1,000	18,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_14
2011	7	2	1	0	0	1,000	19,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_15
2011	7	2	2	0	0	1,000	20,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_16
2011	7	2	3	0	0	1,000	21,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_17
2011	7	2	4	0	0	1,000	22,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_18
2011	7	2	5	0	0	1,000	23,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_19
2011	7	2	6	0	0	1,000	24,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_20
2011	7	2	7	0	0	1,000	25,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_21
2011	7	2	8	0	0	1,000	26,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_22
2011	7	2	9	0	0	1,000	27,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_23
2011	7	2	10	0	0	1,000	28,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_24
2011	7	2	11	0	0	1,000	29,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_25
2011	7	2	12	0	0	1,000	30,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_26

Tabla 3. Casos considerados para los test 5, 6, 7 y 8.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	2,000	5,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	2,000	6,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_2
2011	7	1	13	0	0	2,000	7,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_3
2011	7	1	14	0	0	2,000	8,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_4
2011	7	1	15	0	0	2,000	9,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_5
2011	7	1	16	0	0	2,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_6
2011	7	1	17	0	0	2,000	11,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_7
2011	7	1	18	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_8
2011	7	1	19	0	0	2,000	13,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_9
2011	7	1	20	0	0	2,000	14,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_10
2011	7	1	21	0	0	2,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_11
2011	7	1	22	0	0	2,000	16,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_12
2011	7	1	23	0	0	2,000	17,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_13
2011	7	2	0	0	0	2,000	18,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_14
2011	7	2	1	0	0	2,000	19,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_15
2011	7	2	2	0	0	2,000	20,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_16
2011	7	2	3	0	0	2,000	21,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_17
2011	7	2	4	0	0	2,000	22,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_18
2011	7	2	5	0	0	2,000	23,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_19
2011	7	2	6	0	0	2,000	24,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_20
2011	7	2	7	0	0	2,000	25,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_21
2011	7	2	8	0	0	2,000	26,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_22
2011	7	2	9	0	0	2,000	27,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_23
2011	7	2	10	0	0	2,000	28,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_24
2011	7	2	11	0	0	2,000	29,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_25
2011	7	2	12	0	0	2,000	30,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_26

Para los casos considerados, las fechas son arbitrarias dado que no influye en los resultados. La altura de ola es uniforme para todos los casos considerados, sea 1 metro o bien 2 metros dependiendo del test. Los periodos considerados van de 5 s a 30 s. La dirección es de 270° dado que se considera la incidencia normal respecto al dique. El nivel de marea considerado es 0 m y finalmente los casos se estudian como oleaje monocromático o regular y por eso no se considera la información espectral. Finalmente se ha añadido un identificador a cada caso.

#### 4.1.2 Diseño de la malla numérica y ejecución del modelo

Para la creación de la malla numérica y su posterior ejecución con el modelo MSP, se han seguido los siguientes pasos:

- Lectura de la batimetría.
- Definición de los coeficientes de reflexión para el contorno realizado previamente. En este caso, a la zona del contorno que representa mar abierto se les ha adjudicado un coeficiente de reflexión de 0, y a la parte del contorno que representa el dique se les ha adjudicado coeficientes de reflexión de 1, es decir, totalmente reflejante.

Una vez definidos los coeficientes, se guarda el contorno definido. En las Figura 8 y 9 se puede observar el contorno una vez definidos los coeficientes de reflexión para el dominio de 400 x 400 m y de 1000 x 1000 m respectivamente.

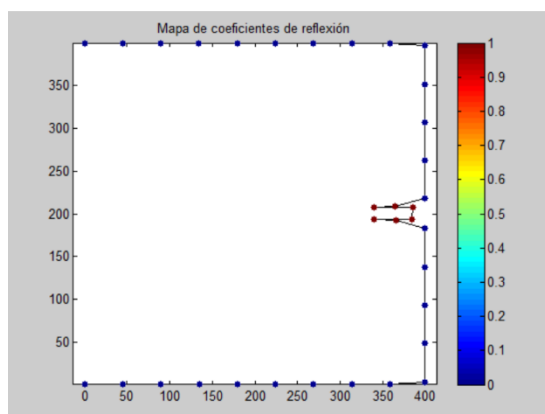


Figura 8. Coeficientes de reflexión considerados para el dominio de 400x400.

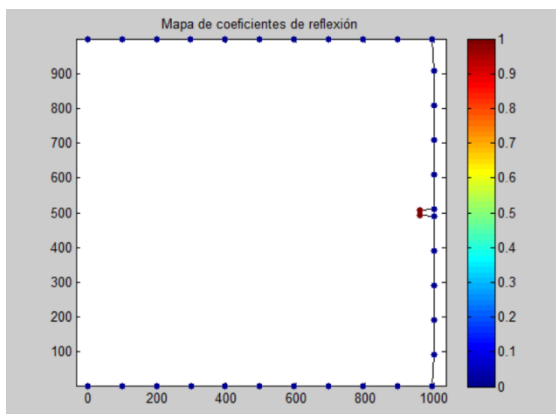


Figura 9. Coeficientes de reflexión considerados para el dominio de 1000x1000.

- c) El siguiente paso es definir la malla. Para ello, se define el periodo de diseño para el mallado y se carga el contorno definido en el paso anterior. Cuanto más bajo sea el periodo de diseño más resolución tendrá la malla. En este caso, el periodo de diseño considerado ha sido de 5 segundos. En la Tabla 4 se exponen los tiempos computacionales del mallado para cada uno de los test considerados.

Tabla 4. Tiempos computacionales de mallado para cada test considerado.

TEST	H INCIDENTE	DOMINIO	CALADO	TIEMPO COMP. MALLADO
TEST_AMP_1	1	400 x 400	150	7 s
TEST_AMP_2	1	400 x 400	16	4 s
TEST_AMP_3	1	1000 x 1000	150	10 s
TEST_AMP_4	1	1000 x 1000	16	6 s
TEST_AMP_5	2	400 x 400	150	7 s
TEST_AMP_6	2	400 x 400	16	4 s
TEST_AMP_7	2	1000 x 1000	150	10 s
TEST_AMP_8	2	1000 x 1000	16	6 s

- d) El último paso, es leer el fichero input (XLS) que se ha creado anteriormente donde se presentan todos los casos a ejecutar.
- e) Una vez el modelo ha resuelto todos los estados de mar propuestos, se extraen los resultados. En este caso, se han definido 3 puntos del dominio correspondientes al inicio del dique, otro punto a mitad y finalmente uno último al final del dique. En la Figura 10 se pueden observar la localización de los puntos en los cuales se extraen los resultados numéricos de altura de ola y periodo para el dominio de 400 x 400 m y en la Figura 11 para el dominio de 1000 x 1000 m.

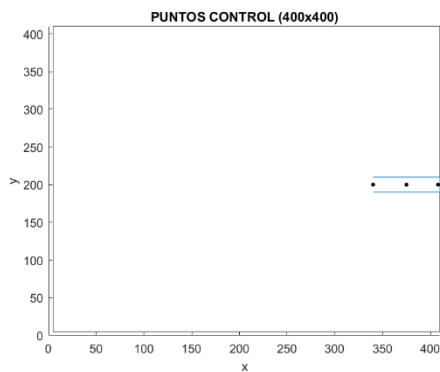


Figura 10. Localización puntos de control para el dominio de 400x400.

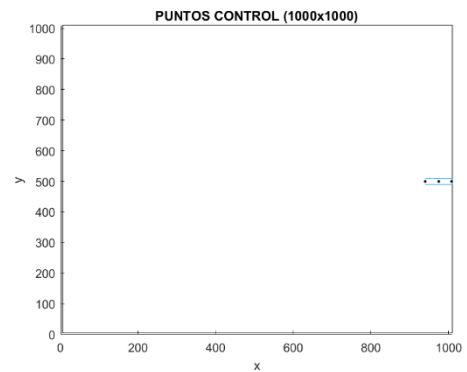


Figura 11. Localización puntos de control para el dominio de 1000x1000.

#### 4.1.3 Resultados

Para el estudio de amplificación se han representado gráficamente los resultados obtenidos en los puntos de control o puntos de salida que se han expuesto en el apartado anterior. Se ha realizado un gráfico para cada test realizado mostrando la variación de la amplificación para todos los periodos estudiados. La amplificación se ha calculado como la altura de ola en el punto de control del interior del dique entre la altura de ola incidente o exterior, que muestra marcados picos por encima de 2 (hasta 2 veces se considera que es un efecto de reflexión al 100%).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

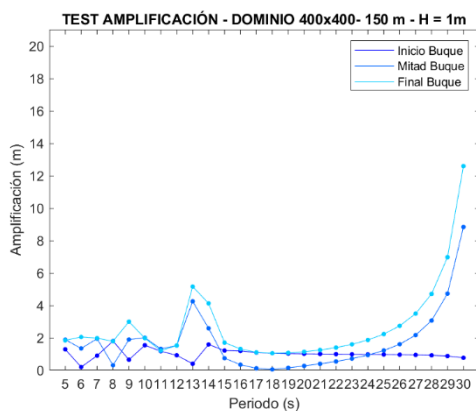


Figura 12. Resultados estudio amplificación -- 400x400m -- h = 150m -- H = 1m.

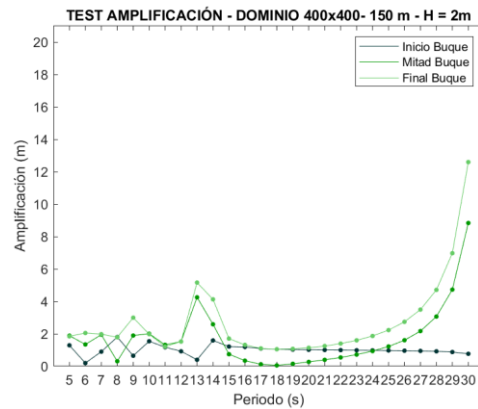


Figura 13. Resultados estudio amplificación -- 400x400m -- h = 150m -- H = 2m.

En las Figuras 12 y 13 se pueden observar los resultados asociados a un dominio de 400 x 400 metros y 150 m de calado en el exterior del buque. La Figura 12 corresponde a una altura de ola incidente de 1 m y en el caso de la Figura 13 la altura de ola incidente es de 2m. Se pueden observar en ambos gráficos los mismos resultados puesto que el eje "y" es amplificación. Esta prueba inicial garantiza en parte la robustez del montaje numérico.

Ambos gráficos muestran como para el punto de control a principio del dique apenas hay amplificación. En el punto de control a mitad del dique se observa una amplificación para el rango de periodos de 12 a 15 s, con un pico en 13 s y por otro lado se observa como a partir del periodo de 18 segundos crece la amplificación hasta el máximo periodo estudiado que se encuentra en el límite de las ondas infragravitatorias. Por último, para el punto de control situado al final del dique, se observa un primer rango de periodos donde hay amplificación, entre 8 y 10 s y por otro lado un segundo rango de periodos entre 12 y 15 s. De la misma forma que para el punto a mitad del dique se muestra como la amplificación crece a partir del periodo de 18 s de forma continua hasta el máximo periodo estudiado de 30 s.

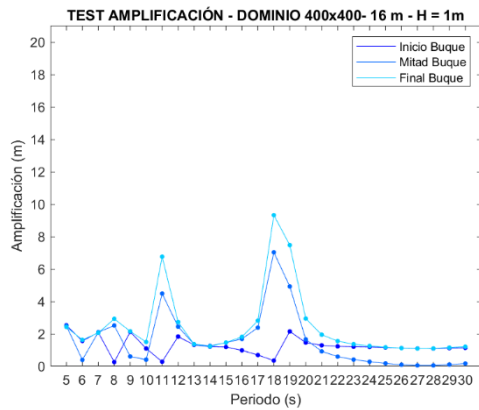


Figura 14. Resultados estudio amplificación - 400x400m -  $h = 16m$  -  $H = 1m$ .

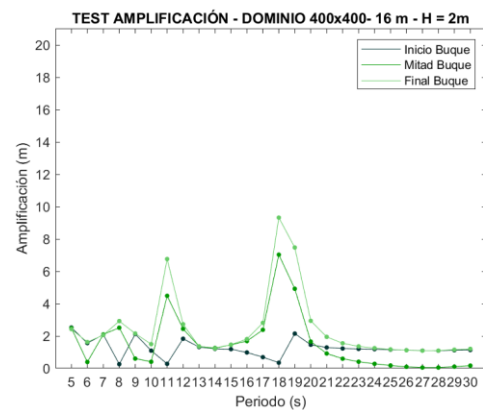


Figura 15. Resultados estudio amplificación - 400x400m -  $h = 16m$  -  $H = 2m$ .

Para poder cuantificar el efecto en los resultados al variar el calado del dominio en el exterior del buque, en la Figura 14 se presentan los resultados asociados a los 3 puntos de control para el dominio de 400 x 400 m, 16 m de calado en el exterior del buque y 1m de altura de ola incidente. En la Figura 15, se observan los mismos resultados, para el mismo dominio, el mismo calado y 2 m de altura de ola incidente. De la misma forma que en los gráficos anteriores, se muestra como para ambos gráficos los resultados entre ambos test son los mismos.

En este caso, para el punto de control a principio del dique, de la misma forma que en los casos anteriores, se puede apreciar como apenas hay amplificación. Para los puntos de control a mitad y al final del dique se observa un primer rango de periodos donde hay amplificación, entre 10 y 12 s, y otro rango de periodos donde también se da amplificación, entre 17 y 20 s. Además, el punto de control al final del dique muestra también una pequeña amplificación para los periodos comprendidos entre 7 y 9 s.

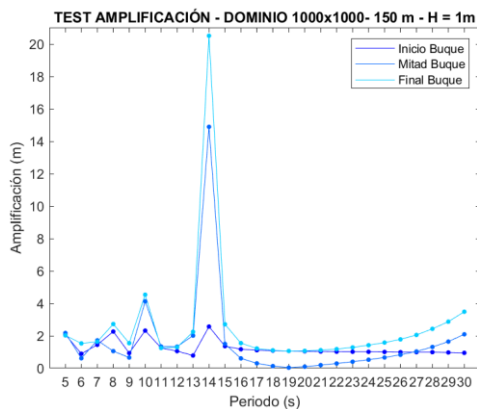


Figura 16. Resultados estudio amplificación - 1000x1000m -  $h = 150m$  -  $H = 1m$

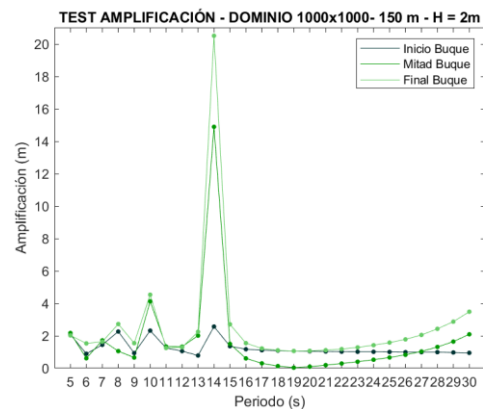


Figura 17. Resultados estudio amplificación - 1000x1000m -  $h = 150m$  -  $H = 2m$

Con la idea de evaluar el efecto en los resultados al variar la dimensión general del dominio numérico, en la Figura 16 se presentan los resultados asociados a los 3 puntos de control para el dominio de 1000 x 1000 m, 150 m de calado en el exterior del buque y 1m de altura de ola incidente. En la Figura 17, se observan los mismos resultados, para el mismo dominio, el mismo

calado y 2 m de altura de ola incidente. De la misma forma que en los gráficos anteriores, se muestra como para ambos gráficos los resultados son los mismos.

Para el punto de control al inicio del dique se observa una leve amplificación para los rangos de periodos cercanos a 8 s, 10 s y 14 s. Los resultados asociados a los puntos de control a mitad y a final del dique muestran resultados muy similares, donde se observa una amplificación de la altura de ola para los periodos comprendidos entre 7 y 9 segundos, entre 9 y 11 s y finalmente, entre 13 y 15 s, encontrando picos muy superiores al resto para 10 s y 14 s. Además, se observa como para los periodos más grandes contemplados en el estudio se da un crecimiento de la amplificación a partir de los 19 s de periodo.

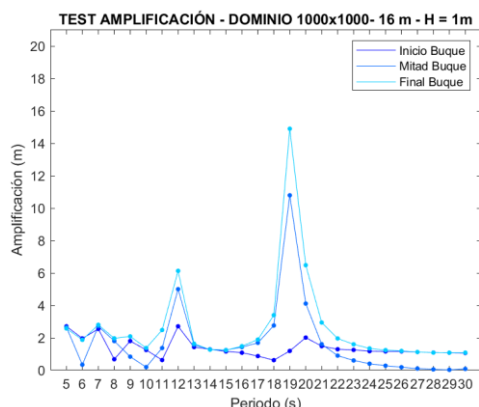


Figura 18. Resultados estudio amplificación - 1000x1000m – h = 16m – H = 1m

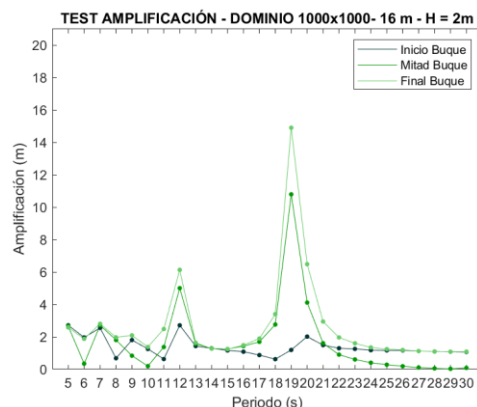


Figura 19. Resultados estudio amplificación - 1000x1000m – h = 16m – H = 2m

Y adicionalmente, en la Figura 18 se muestran los resultados asociados a los 3 puntos de control para el dominio de 1000 x 1000 m, 16 m de calado y 1 m de altura de ola incidente. En la Figura 19, se observan los mismos resultados, para el mismo dominio, el mismo calado, pero en este caso 2 m de altura de ola incidente. De la misma forma que en los gráficos anteriores, se puede observar cómo los resultados son los mismos para ambos gráficos.

En este caso, se puede observar cómo los resultados extraídos del punto de control al principio del dique muestran amplificación para los periodos cercanos a 7 s y a 12 s. Para los puntos de control a mitad y a final del dique, se observan resultados muy similares, donde se observa amplificación para los rangos de periodos entre 11 y 13 s y entre 18 y 21 s aproximadamente.

#### 4.1.4 Discusión y conclusiones

Una vez analizados los resultados obtenidos de los diferentes test realizados para el estudio de amplificación de la altura de ola en el interior del buque, se puede tener una mejor visión de la respuesta resonante de la dársena.

Por un lado, y como se pre-suponía, destacar que en estos test la altura de ola incidente no ejerce ningún papel relevante, dado que al tratar los resultados se considera la amplificación que se genera en el interior del dique, por tanto, se considera el cociente entre la altura de ola en el punto de control y la altura de ola incidente. Al tratarse de un modelo de carácter lineal la amplificación será la misma indistintamente de la altura de ola incidente considerada. Aun así, se han realizado todos los test para dos alturas de ola incidentes diferentes para asegurar que el modelo resolvía los casos propuestos de forma correcta mostrando que para las dos alturas de ola se obtenían los mismos resultados.



Por otro lado, se puede observar que existen diferencias entre los resultados obtenidos para el dominio de 400 x 400 m y el dominio de 1000 x 1000 m. Aun así, las diferencias que se observan son básicamente en magnitudes de amplificación, donde se pueden observar magnitudes muy superiores en los resultados del dominio de 1000 x 1000 m, pero los rangos de periodos donde se da amplificación son prácticamente iguales, indiferentemente del dominio considerado. Esta diferencia en magnitudes viene dada porque para una correcta ejecución del modelo numérico, se debe dejar un dominio previo a la zona de estudio de 1 – 1.5 veces la longitud de onda incidente. Es por eso, que sobre todo para periodos más grandes, los cuales tienen longitudes de onda superiores, el dominio de 400 x 400 m se quede pequeño y no tengan espacio suficiente para una correcta propagación. En cambio, en el dominio de 1000 x 1000 m, en todos los casos se respeta la norma de 1-1.5L, la onda cabe bien y se desarrolla mucho mejor.

Finalmente, los resultados muestran diferencias en los rangos de periodos donde se da amplificación en función del calado exterior considerado. Es decir, los casos ejecutados con el calado de 150 m muestran diferencias respecto a los casos ejecutados con 16 m de calado exterior. Lo cual debe ser considerado a la hora de realizar distintos catálogos de propagación/agitación de oleaje, especialmente para aquellas situaciones en las que el buque se encuentre fondeado en aguas poco profundas o someras.

#### **4.2 TEST 2 – ANÁLISIS COMPARTIVO DE LOS PROCESOS DE AGITACIÓN CON LOS MODELOS MSP – IH2VOF**

En este segundo test, se ha llevado a cabo un análisis comparativo de los procesos de agitación entre el modelo MSP y el modelo IH2VOF. Dado que se desea que el modelo general de desarrollo del estudio sea el modelo MSP, es necesario compararlo con el modelo IH2VOF para poder valorar y cuantificar la similitud o diferencias con base en escenarios numéricos controlados.

El valor del modelo IH2VOF dentro del presente estudio radica en las propias ecuaciones que resuelve y por lo tanto, en las avanzadas capacidades que presenta a la hora de evaluar la interacción tridimensional del oleaje con elementos fijos (canales, diques, rompeolas, etc.). Es un modelo que resuelve las ecuaciones VARANS (Volume-Averaged/Reynolds-Averaged Navier Stokes), y es capaz de proporcionar el campo de velocidades, presiones y turbulencia en un dominio bidimensional en vertical o canal numérico (2DV). Es un modelo que se emplea (entre un surtido catálogo de aplicaciones), para estudios de diseño de obras marítimas de protección y abrigo: flujo sobre la estructura o transmisión, e interacción del flujo oscilatorio con elementos geométricos de cualquier forma.

Para llevar a cabo la comparación entre ambos modelos se han considerado dos escenarios de montaje para el modelo IH2VOF, que se explicarán a continuación, así como dos escenarios de montaje para el modelo MSP que se explicarán más adelante. Para todos los escenarios se han simulado los mismos casos de forzamiento que también se explicarán en el siguiente apartado.

##### **4.2.1 Metodología**

Se proponen 6 forzamientos diferentes para poder analizar la sensibilidad entre modelos, en función de varias combinaciones de altura de ola (H) y periodo (T) de oleaje monocromático incidente. Además, se han considerado diferentes escenarios para ambos modelos que se explicarán más adelante. Se pueden consultar los casos considerados para ambos modelos en la siguiente tabla (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Casos propuestos para el análisis comparativo de los procesos de agitación.

CASO	H (m)	T (s)
1	2	9
2	2	12
3	2	15
4	1	7
5	1	10
6	1	13

Tal y como se comenta anteriormente, todos los casos han sido ejecutados con oleaje monocromático, sin embargo, en un futuro será necesario repetir estos test con oleaje irregular para los dos modelos, casos que se escapan de los objetivos del presente estudio preliminar que recoge el TFM.

A continuación, se explica de forma más detallada el montaje de los modelos, tanto IH2VOF como MSP.

#### 4.2.2 Montaje de los modelos IH2VOF y MSP

En primer lugar, se explican los dos montajes realizados para el modelo IH2VOF que corresponden a los “casos-control” que posteriormente serán aprovechados por el modelo MSP para comparar los resultados. Los montajes son:

- Control 1. Se plantea una geometría que intenta asemejar, al máximo posible, la realidad de la situación física a resolver, presentado un dominio/canal de 500 m de longitud y abierto en ambos lados, con profundidad constante de  $h=16$  m y colocando, a una distancia de 350 m desde el origen, el perfil longitudinal (a lo largo de su eslora) del buque “flotando”, con la rampa desplegada y con un calado interior de  $h=2$  m (dársena abierta y funcionando). El oleaje se propaga de izquierda a derecha, interactúa con el buque y se transmite parcialmente hasta el área de 100 disponible por detrás del buque.
- Control 2. Similar al Control 1 pero con la salvedad de modificar la cota de calado del buque en forma de obstáculo constante y hasta el fondo del dominio, con la idea de montar un símil al escenario que debe tener el modelo MSP, lo cual permitirá evaluar si el modelo MSP es capaz de gestionar este escenario batimétrico tan complejo, qué diferencias puede llegar a presentar en la agitación interior y qué diferencias en los resultados cuando el oleaje no puede transmitirse por debajo del buque.

A continuación, en la Figura 20 se adjunta un esquema de ambas situaciones:

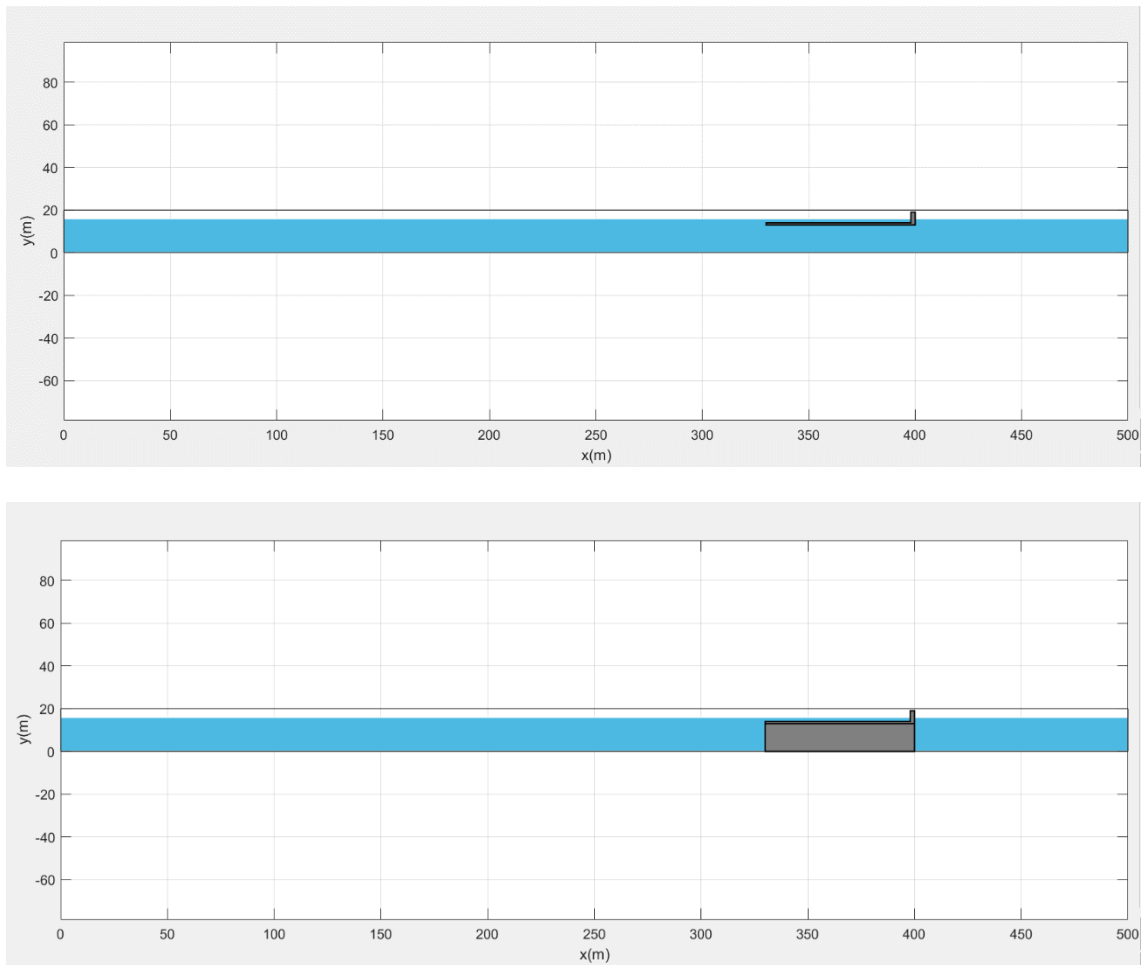


Figura 20. Esquema configuración Control 1 y Control 2 en el modelo IH2VOF

Se han realizado dos mallas distintas utilizando la herramienta CORAL del modelo IH2VOF. Las consideraciones que se han tenido en cuenta para el diseño de las mallas han sido las siguientes:

- Definición del dominio numérico manteniendo una distancia igual a 1-1.5 longitudes de onda delante de la zona de estudio.
- La relación de aspecto considerada entre el tamaño en horizontal y vertical ha sido de  $\Delta x/\Delta y = 2$ .
- Discretización vertical: 7-10 celdas por altura de ola.
- Se ha realizado una malla uniforme para todo el dominio para así descartar errores inducidos por el mallado.
- Se ha verificado en todo momento el “Mesh-Quality”, donde se muestra que la derivada del tamaño de celda a lo largo de todo el dominio no supera el 0.05.

Además, se ha añadido agua con 16 m de calado para todo el dominio y un obstáculo que simula el dique/dársena de 70 m de largo, dejando 2 m de calado en el interior. La idea inicial para ambos escenarios era imponer un calado de 150 m, puesto que es un calado más similar al que puede darse en la realidad cuando el buque lleva a cabo un desembarco anfibio desde aguas profundas/intermedias, pero el calado de  $h=16$  m se propuso tras la realización de diferentes pruebas preliminares con profundidades desde 150 m, siendo la profundidad umbral de 16 m la que permitía una ejecución más ágil del modelo IH2VOF.

Además, destacar que en los forzamientos que se han estudiado, los cuales se explicarán más adelante, se han considerado dos  $H$  distintas, de 1 m de 2 m, es por eso que se han realizado dos mallas distintas para el modelo IH2VOF, porque siguiendo las consideraciones comentadas anteriormente, en función de la altura de  $H$  las características de la malla varían.

A continuación, se adjuntan las mallas realizadas para ambos casos. En la Figura 21 se puede observar la malla realizada para la altura de ola de 2 m y en la Figura 22 la malla realizada para la altura de ola de 1 m para el Control 1. Así como en la Figuras 23 y 24, se pueden observar las mallas realizadas para las alturas de ola de 2 y 1 m respectivamente para el Control 2.

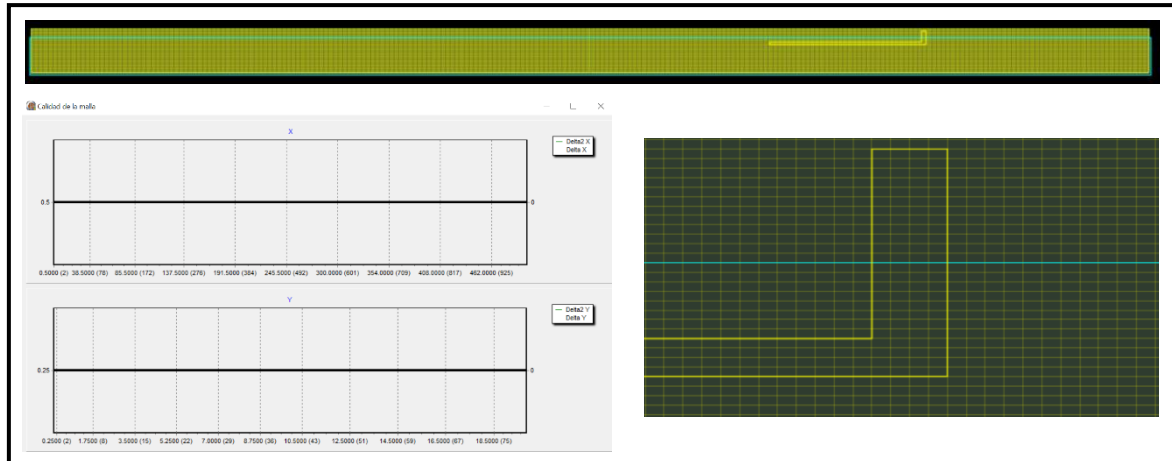


Figura 21. Malla, Calidad de la malla y zoom de la malla para los casos  $H = 2$  m (Control 1).

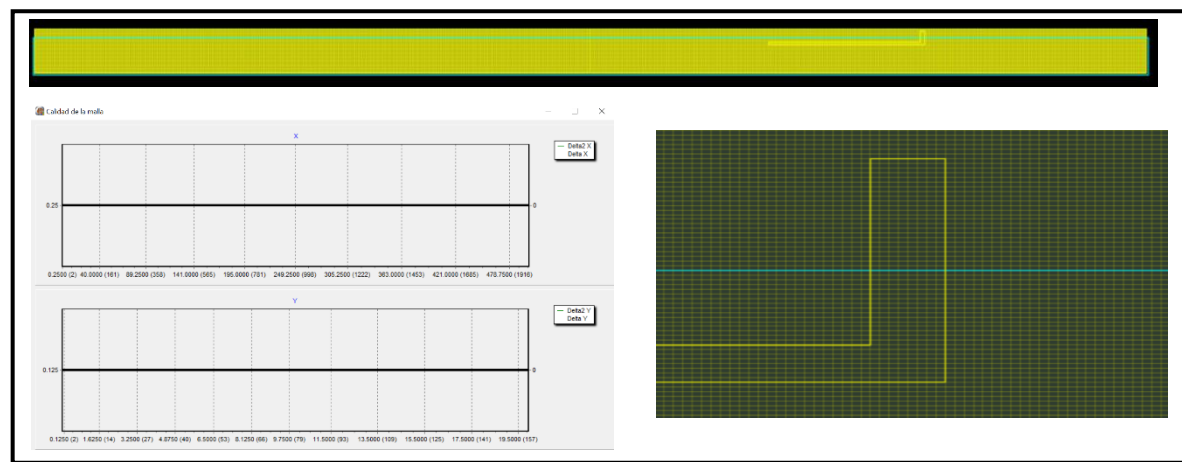


Figura 22. Malla, Calidad de la malla y zoom de la malla para los casos  $H = 1$  m (Control 1).

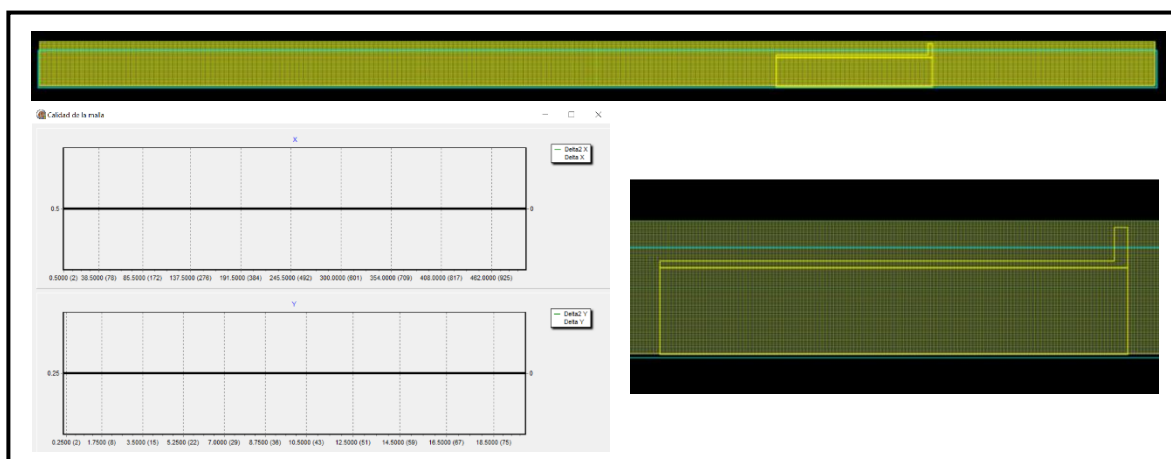


Figura 23. Malla, Calidad de la malla y zoom de la malla para los casos  $H = 2 \text{ m}$  (Control 2).

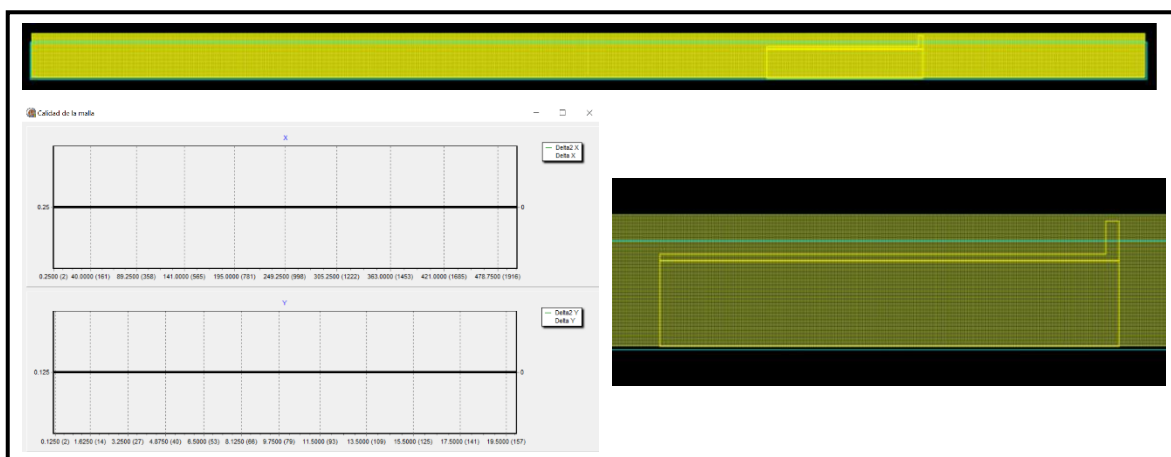


Figura 24. Malla, Calidad de la malla y zoom de la malla para los casos  $H = 1 \text{ m}$  (Control 2).

Una vez se definen las mallas y los casos para los 2 casos control, el siguiente paso es definir los puntos de control en los cuales se extrae la información para cada configuración.

Los puntos de control han sido repartidos a lo largo de todo el dominio/canal considerado, aun así, se pueden dividir en 3 secciones. Una primera sección desde  $x = 0 \text{ m}$  hasta  $x = 240 \text{ m}$  donde se ha puesto un punto de control cada  $10 \text{ m}$ ; una segunda sección desde  $x = 240 \text{ m}$  hasta  $x = 400 \text{ m}$  donde se ha puesto un punto de control cada  $3 \text{ m}$  y finalmente, a partir de  $x = 400 \text{ m}$  hasta el final del dominio, se ha puesto un punto de control cada  $8 \text{ m}$ . Se han puesto más puntos de control en la zona central puesto que es la zona de mayor interés del dominio, dado que es donde se localiza el buque en la simulación. En la Figura 25 se puede observar la localización de los puntos de control en el dominio para el Control 1 y en la Figura 26 los puntos de control para el Control 2.

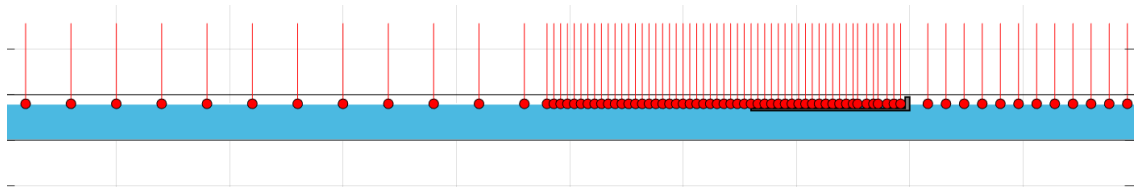


Figura 25. Posición puntos de control - (Control 1) - IH2VOF.

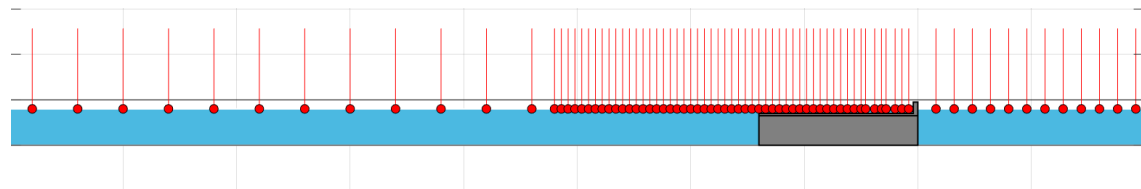


Figura 26. Posición puntos de control - (Control 2) - IH2VOF.

Una vez se define la posición de los puntos de control el caso queda listo para poder comenzar la simulación.

En cuanto al modelo MSP se realizaron de forma previa diferentes test hasta llegar a un montaje numérico óptimo para poder comparar los resultados con el modelo IH2VOF. A continuación, se adjunta una tabla (Ver Tabla 6) resumen de todos los casos realizados de forma previa hasta llegar al caso definitivo. Aun así, se puede consultar el montaje detallado de todos estos test previos en el Anexo I.

Tabla 6. Resumen de test previos al montaje óptimo del modelo MSP.

TEST	ASPECTOS TÉCNICOS					JUSTIFICACIÓN	TEST SIGUIENTE
	DOMINIO (m)	CALADO (m) EXT - INT	NODOS CONTORNO	Nº ESTADOS DE MAR	T <sub>comp</sub> /ESTADO DE MAR		
1	100 x 100	150 - 2	4	15	0.8 s	Se ha llevado a cabo el primer test para el modelo MSP considerando la forma del buque de manera simplificada. Se han considerado diferentes alturas de ola y periodos, además de diferentes ángulos de incidencia.	Una vez observados los resultados del test I, se buscó crear un nuevo contorno y batimetría donde el dominio espacial sea más amplio y no considerando únicamente el interior del buque.
2	100 x 100	150 - 2	12	15	0.5 s	En este segundo test, se define un contorno distinto con el cual para la propagación se considera también el exterior del dique. Los forzamientos son los mismos que para el primer test.	Una vez observados los resultados del test II, estudió disminuir la batimetría general para observar diferencias respecto al test II.
3	100 x 100	80 - 2	12	15	0.5 s	En este tercer test se evaluaron las diferencias en los resultados cuando se	Una vez observados los resultados del test III, se

						variaba la profundidad del dominio.	optó por realizar un diseño más detallado del buque.
4	100 x 100	150 - 2	8	-	-	En el cuarto test, se mantuvo el dominio, la batimetría considerados para el test 1, pero se realizó un nuevo contorno añadiendo más realismo a la silueta del buque.	Para el test número 5 se decidió considerar el dominio que se había considerado anteriormente para el test 2.
5	100 x 100	150 - 2	16	-	-	En el quinto test, se mantuvo el dominio, la batimetría considerados para el test 2, pero se realizó un nuevo contorno añadiendo más realismo a la silueta del buque.	<p>Una vez realizados los dos últimos test se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones para el diseño del test 6:</p> <p>El detalle del buque se deja para más adelante. De momento se seguirá trabajando con el diseño del buque expuesto en los test 1,2 y 3.</p> <p>El dominio espacial utilizado hasta el momento es demasiado reducido, puesto se debe considerar que antes del objeto de estudio haya 1-2L. Por tanto, de cara al test 6 se amplió el dominio espacial tanto en x como en y a 500 m.</p> <p>Los casos de estudio se reformularon. Se considerarán 3 direcciones incidentes: totalmente perpendicular y con variación de <math>\pm 10^\circ</math> respecto a la dirección perpendicular (<math>270^\circ</math>). Todos los casos se estudiarán para una H de 1 m y el único aspecto que variará entre ellos serán los periodos.</p>
6	500 x 500	150 - 2	12	14	5 s	En este caso, se observó como variaban los resultados ampliando el dominio entre la zona de generación y la zona de estudio.	En el siguiente test se realizará un cambio en el dominio espacial y únicamente se ejecutaran 2 casos control para así poder validar los resultados que se obtengan posteriormente con el modelo IH2VOF.

7	400 x 400	150 – 2	12	2	3 s	En el séptimo test se realizó el cambio en el dominio y únicamente se ejecutaron casos con incidencia perpendicular al buque, adaptando el montaje a lo considerado para los montajes en el modelo IH2VOF.	El próximo test a ejecutar corresponde exactamente al mismo montaje que en el caso del test 7 pero en este caso se ejecutará con oleaje espectral y no monocromático como se ha realizado hasta el momento.
8	400 x 400	150 – 2	12	2	24 min	En el caso del octavo test, se ejecutó como oleaje espectral para considerar como variaban los resultados en comparación a los casos ejecutados como oleaje monocromático.	Dadas las limitaciones con el modelo IH2VOF, el siguiente caso a representar en el MSP se basa en replicar el test realizado con el modelo IH2VOF, cambiando el calado del dominio exterior al buque a 16m, que será el que se utilizará en el modelo IH2VOF para así reducir el tiempo computacional.
9	400 x 400	16 - 2	12	2	3 s	El noveno caso considerado fue cambiando el calado exterior para adaptar el montaje al modelo IH2VOF. Los resultados que se obtuvieron respecto al test 7 fueron muy similares.	El siguiente test realizado fue creado con el objetivo de simular el mismo caso, con un calado de 16 metros en la zona exterior del buque y un calado constante de 2 metros en el interior del buque, pero en este caso en forma de canal para así comparar posteriormente con los resultados que se obtienen del modelo IH2VOF y así observar si con el montaje del test 9 se perdía energía por el amplio dominio en comparación a los resultados que se observaron en la zona exterior del buque del modelo IH2VOF (se mostrarán más adelante).
10	400 x 20	16 – 2	4	2	1 s	En este último caso el cual se ejecutó con un dominio en forma de canal se pudo confirmar que efectivamente el dominio considerado en el test 9 mostraba una dispersión angular (o radiación) de la energía en la zona exterior que el modelo IH2VOF no mostraba (porque presenta forma de canal) y ejecutando el modelo MSP	-



						en forma de canal se obtenían resultados semejantes para la zona exterior que los observados en el modelo IH2VOF.	
--	--	--	--	--	--	---	--

Una vez realizados todos los test previos, los que se consideraron finalmente para el análisis comparativo entre ambos modelos fueron el montaje del test 9 y el montaje del test 10.

A continuación, se explican ambos montajes de forma más detallada:

**MONTAJE “TEST 9”** → Se define un dominio de 400 x 400 m, considerando que el dominio debe contemplar 1 – 1.5 veces la longitud de onda de la onda incidente antes del área de estudio. La batimetría en este caso es una batimetría constante de 16 m excepto el área donde representa el buque que presenta un calado de 2 m. Los coeficientes de reflexión considerados para el contorno del buque fueron de 1, es decir, totalmente reflejantes (análogos a los contornos sólidos del modelo IH2VOF). A continuación, en la Figura 27 se puede observar la batimetría y el contorno considerado.

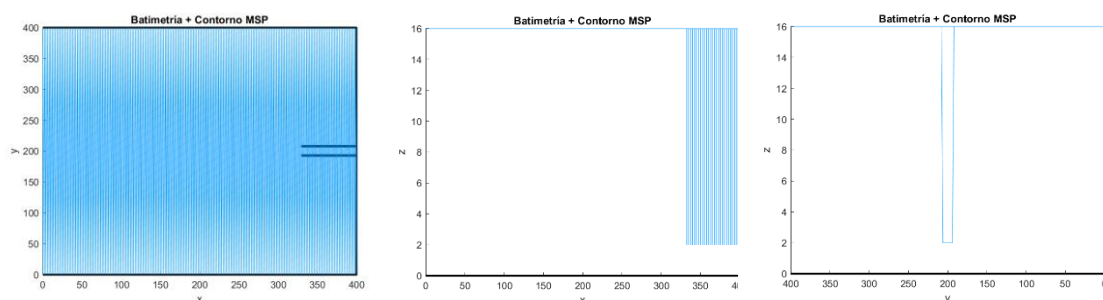


Figura 27. Batimetría y Contorno considerados para el modelo MSP “TEST 9”.

Contemplando los 2 casos control explicados anteriormente para el modelo IH2VOF, se ejecutaron los oleajes seleccionados.

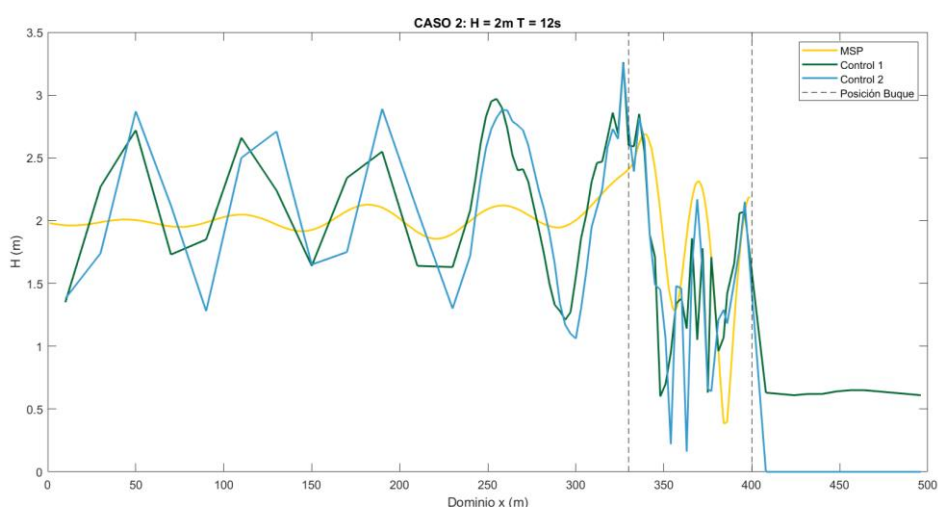


Figura 28. Resultados obtenidos para los modelos MSP e IH2VOF en una primera comparación.

Al comparar los resultados (ver Figura 28) se observó que, en la zona del interior del buque, los resultados se asemejaban y presentan un ordenamiento de máximos/mínimos similar y del mismo orden de magnitud, mostrando que las agitaciones aportadas por el modelo IH2VOF (para ambos casos control) son similares entre sí, pero con oscilaciones de altas frecuencias en comparación con lo obtenido por el modelo MSP, que muestra una oscilación lineal y monocromática clara.

Por otro lado, se observan los resultados que correspondían a la zona exterior del buque, se pudo comprobar que las oscilaciones exteriores del modelo IH2VOF superaban con creces a las aportadas por el modelo MSP. Inicialmente, se creyó que estas diferencias podrían ser causadas por la diferencia en las geometrías, es decir, el modelo IH2VOF ejecuta los casos simulando un canal, por tanto, en este caso la energía queda confinada en la dirección ‘y’, mientras que el montaje del modelo MSP se extiende 400 m hacia esa dirección, lo cual puede fomentar un efecto de radiación/divergencia direccional del oleaje reflejado hacia el exterior de la dársena.

Para poder verificar esta hipótesis, se creó el caso 10, dejando el mismo dominio en ‘x’ pero estrechando el dominio en ‘y’, para generar un canal cuasi-1DH con una anchura equivalente a la manga del buque. A continuación, se detalla el montaje de esta segunda configuración.

**MONTAJE “TEST 10”** → Consiste en un dominio de 400 x 19 m. La batimetría es variable, constante en la zona exterior con 16 m de calado y en la zona del interior del dique de 2 m de calado constante. El contorno únicamente está definido por 4 nodos en las esquinas del dominio, siendo todo el contorno totalmente reflejante. A continuación, en la Figura 29 se puede observar una representación de la configuración definida.

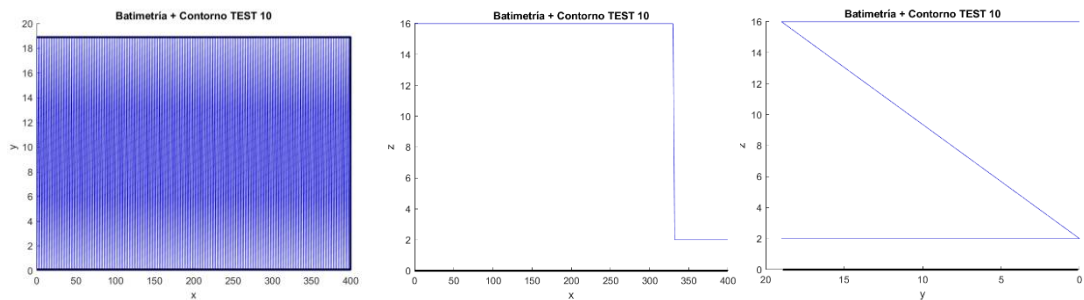
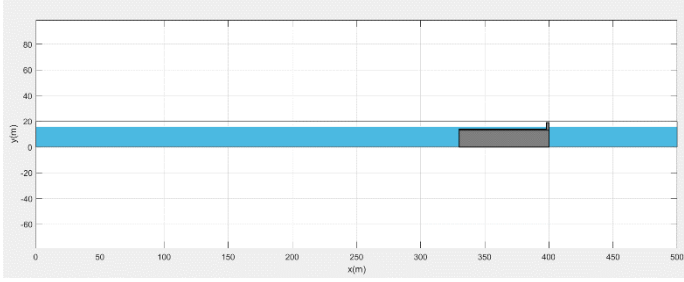
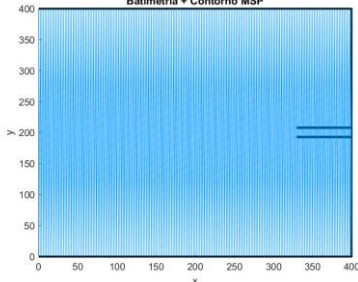
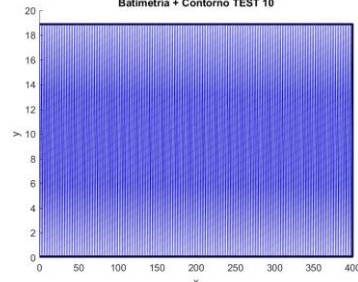


Figura 29. Batimetría y Contorno considerados para el modelo MSP “TEST 10” (CANAL).

Por lo tanto y resumiendo, el total de geometrías que se han considerado para los resultados del análisis comparativo de los procesos de agitación entre ambos modelos son 4 (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Geometrías consideradas para el estudio de agitación con los modelos IH2VOF y MSP.

GEOMETRÍA TEST	DESCRIPCIÓN TEST
<p>Figura 30. Geometría test "Control 1" - IH2VOF.</p>	<p><b>Control 1 – IH2VOF</b></p> <p>Geometría que intenta asemejar la situación física a la realidad lo máximo posible. Calado constante <math>h = 16\text{m}</math>, excepto en la zona del buque donde se añade el obstáculo que simula el dique con un calado <math>h = 2\text{m}</math>.</p>

 <p><i>Figura 31. Geometría test "Control 2" - IH2VOF.</i></p>	<p><b>Control 2 – IH2VOF</b></p> <p>Similar al Control 1 pero con la salvedad de modificar la cota de calado del buque en forma de obstáculo constante y hasta el fondo del dominio, con la idea de montar un símil al escenario que debe tener el modelo MSP.</p>
 <p><i>Figura 32. Geometría test "MSP"</i></p>	<p><b>MSP</b></p> <p>Primera geometría del modelo MSP simulando el escenario 2DH, considerando un dominio de 400 x 400 m, con una aproximación sencilla de la forma del buque, simulando únicamente el dique inundable.</p>
 <p><i>Figura 33. Geometría test "MSP - Canal"</i></p>	<p><b>MSP Canal</b></p> <p>Segunda geometría del modelo MSP simulando el escenario considerando un dominio de 400 x 20 (cuasi 1DH), con una aproximación sencilla de la forma del buque, simulando únicamente el dique inundable</p>

#### 4.2.3 Resultados y discusiones

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación entre el modelo IH2VOF y el modelo MSP.

Previamente a mostrar los resultados gráficos, se adjuntan dos tablas resumen con los tiempos computacionales que ha requerido cada uno de los casos considerados, en la Tabla 8 se pueden observar los tiempos computacionales para el modelo IH2VOF y en la Tabla 9 para el modelo MSP.

##### Tiempos computacionales modelo IH2VOF:

*Tabla 8. Tiempos computacionales modelo IH2VOF.*

CASO	H (m)	T (s)	MONTAJE	DURACIÓN	TIEMPO COMPUTACIONAL
1_1	2	9	Realidad	800	8h 15'
1_2	2	9	Realidad - Obstáculo	800	7h 45'
2_1	2	12	Realidad	800	8h 30'

2_2	2	12	Realidad - Obstáculo	800	8h
3_1	2	15	Realidad	800	8h 40'
3_2	2	15	Realidad - Obstáculo	800	8h 10'
4_1	1	7	Realidad	800	43h 25'
4_2	1	7	Realidad - Obstáculo	800	37h 20'
5_1	1	10	Realidad	800	45h
5_2	1	10	Realidad - Obstáculo	800	40h 15'
6_1	1	13	Realidad	800	40h 45'
6_2	1	13	Realidad - Obstáculo	800	43h

#### Tiempos computacionales modelo MSP:

Tabla 9. Tiempos computacionales modelo MSP.

CASO	H (m)	T (s)	MONTAJE	TIEMPO COMPUTACIONAL (Por estado de mar)
1_1	2	9	400 x 400	3s
1_2	2	9	400 x 20	1s
2_1	2	12	400 x 400	3s
2_2	2	12	400 x 20	1s
3_1	2	15	400 x 400	3s
3_2	2	15	400 x 20	1s
4_1	1	7	400 x 400	3s
4_2	1	7	400 x 20	1s
5_1	1	10	400 x 400	3s
5_2	1	10	400 x 20	1s
6_1	1	13	400 x 400	3s
6_2	1	13	400 x 20	1s

Considerando ambas tablas, se puede observar la clara diferencia que existe en los tiempos computacionales entre ambos modelos, a manera de justificación de haber elegido al modelo MSP como la herramienta de explotación del sistema de predicción.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la evolución de la altura de ola en el dominio para todos los casos considerados. Para todos los casos se muestra en primer lugar un

gráfico con la evolución de la altura de ola considerando todo el dominio y en segundo lugar se muestra para el mismo caso únicamente la zona del dominio correspondiente al interior del buque, para poder observar esta zona con más detalle.

Para una mejor comprensión de los resultados, se exponen en primer lugar los gráficos correspondientes a la comparación de los 4 escenarios contemplados para todos los casos considerados. Para todos los casos, se expone una primera figura con los resultados correspondientes a la totalidad del dominio y una segunda figura considerando únicamente el dominio del dique. Posteriormente, se realizará una descripción y discusión de todos los resultados que se muestran a continuación.

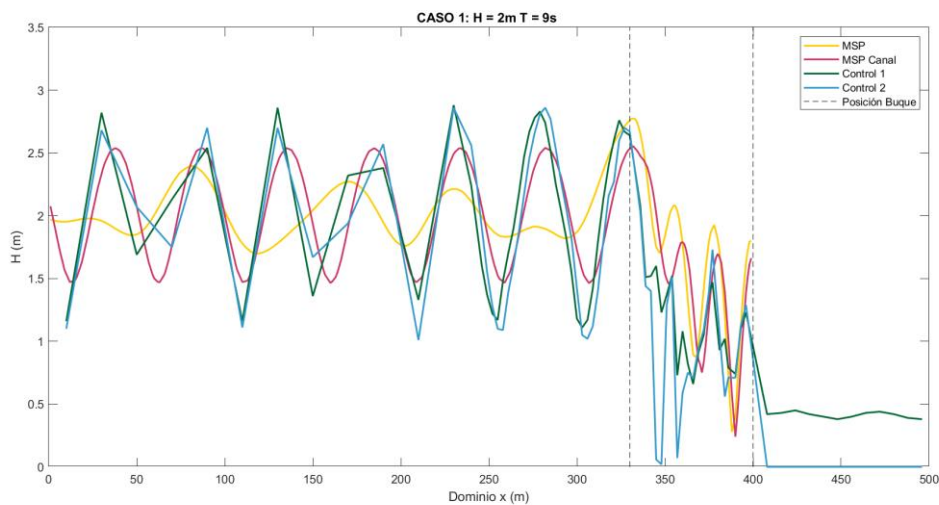


Figura 34. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 1)

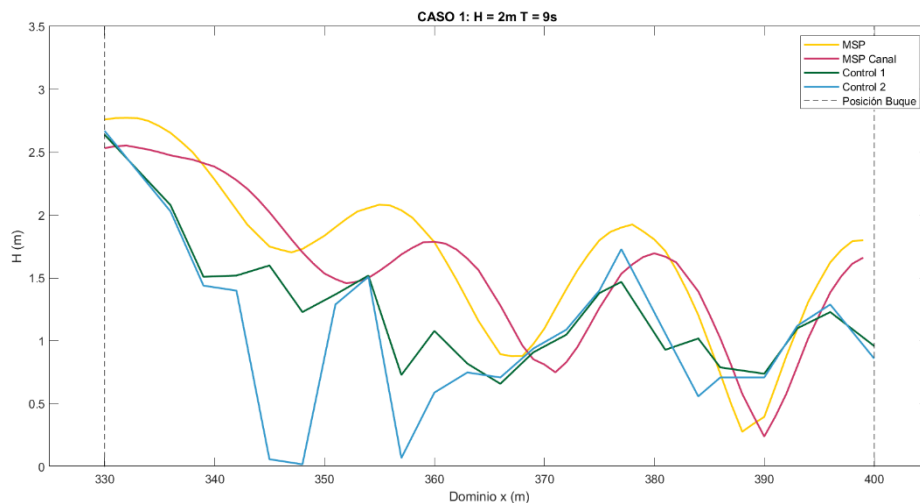


Figura 35. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 1)

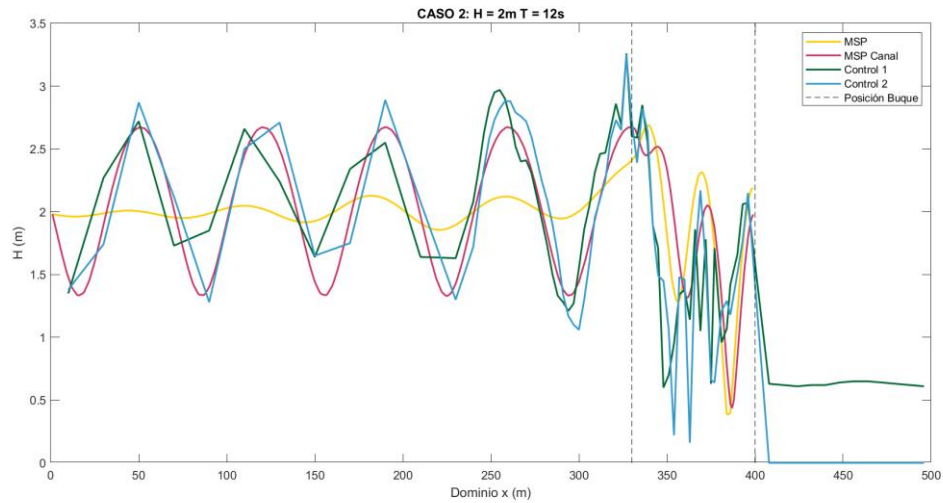


Figura 36. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 2)

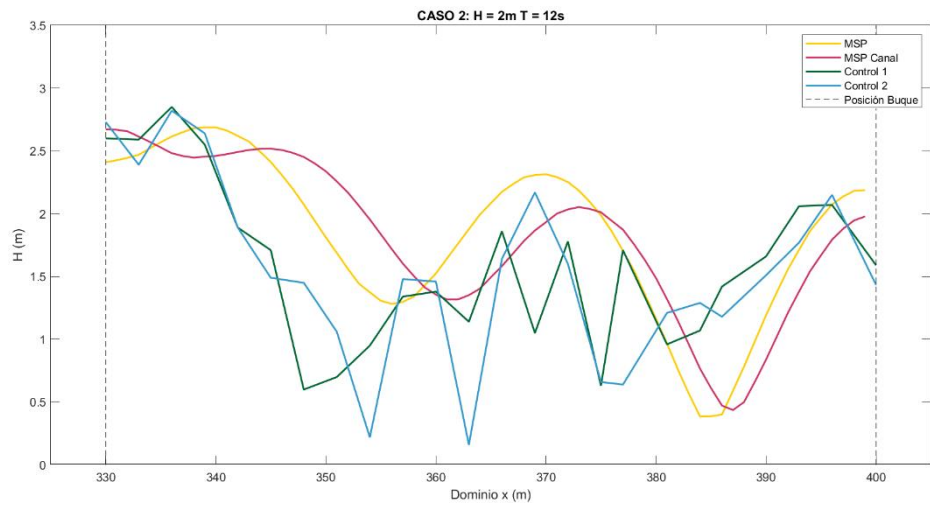


Figura 37. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 2)

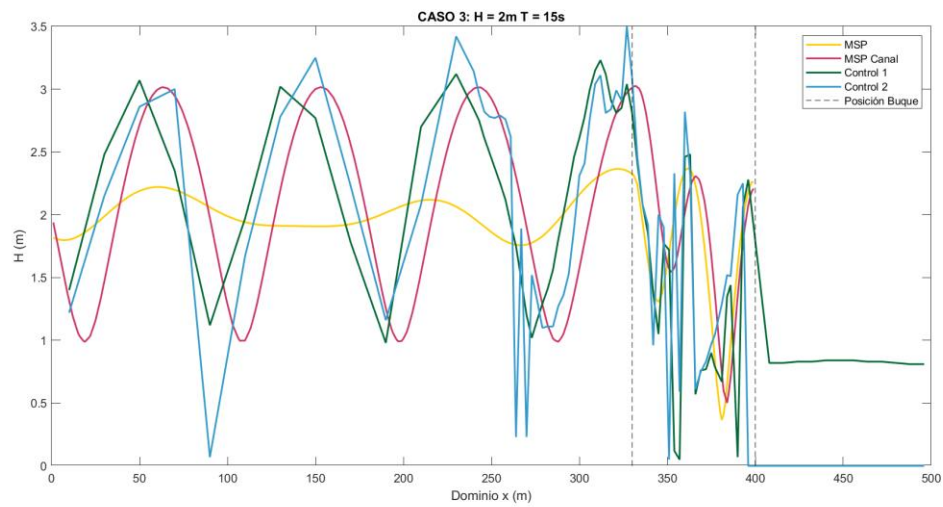


Figura 38. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 3)

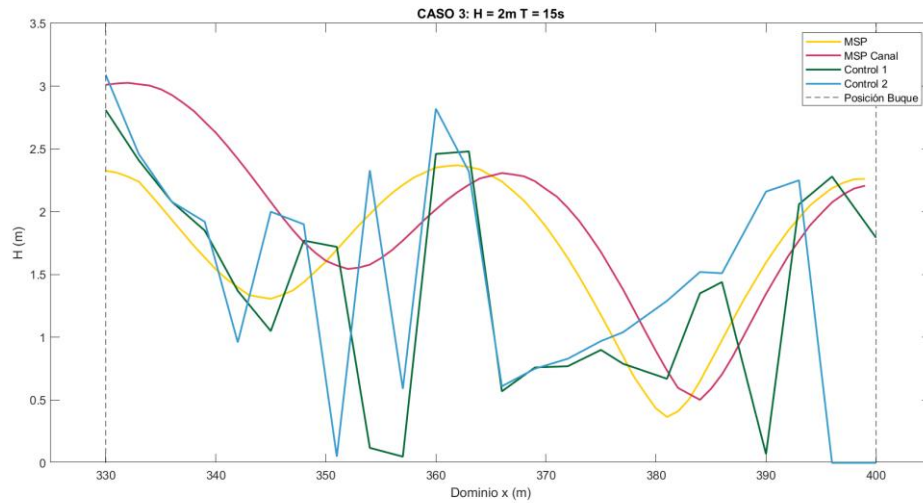


Figura 39. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 3)

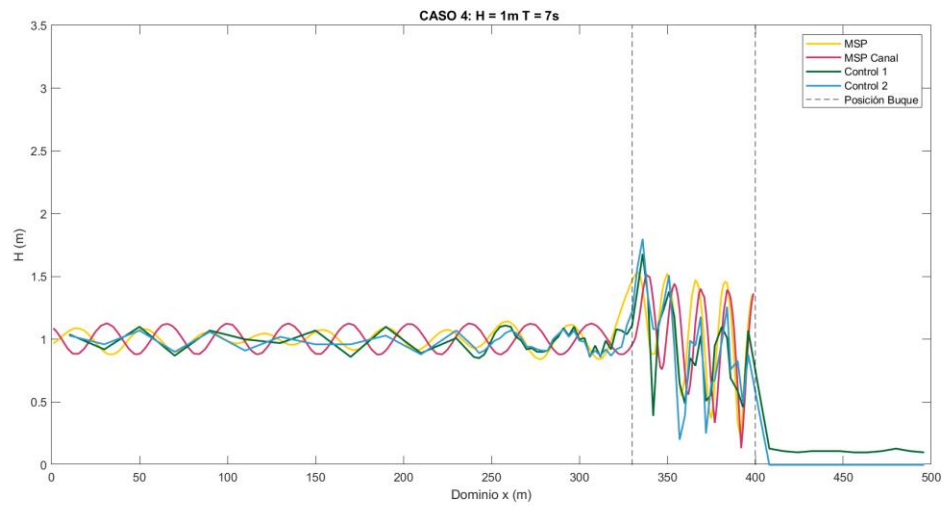


Figura 40. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 4)

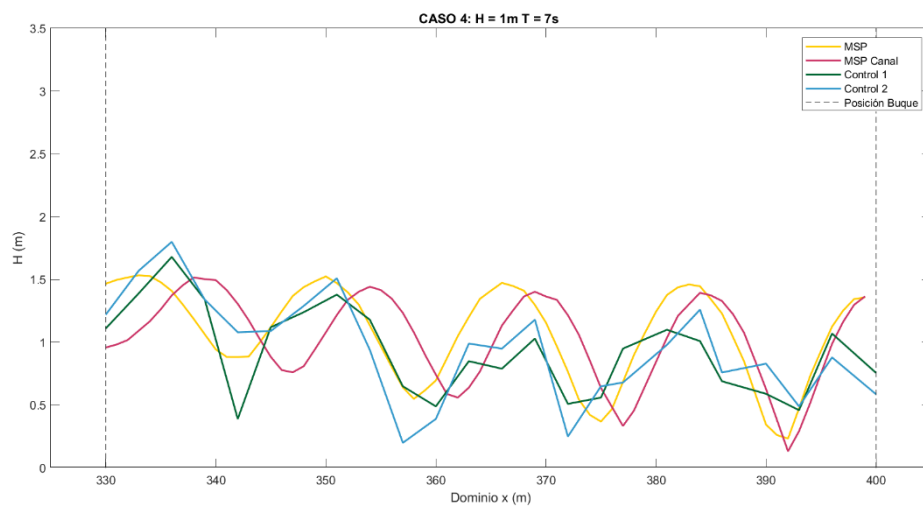


Figura 41. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 4)



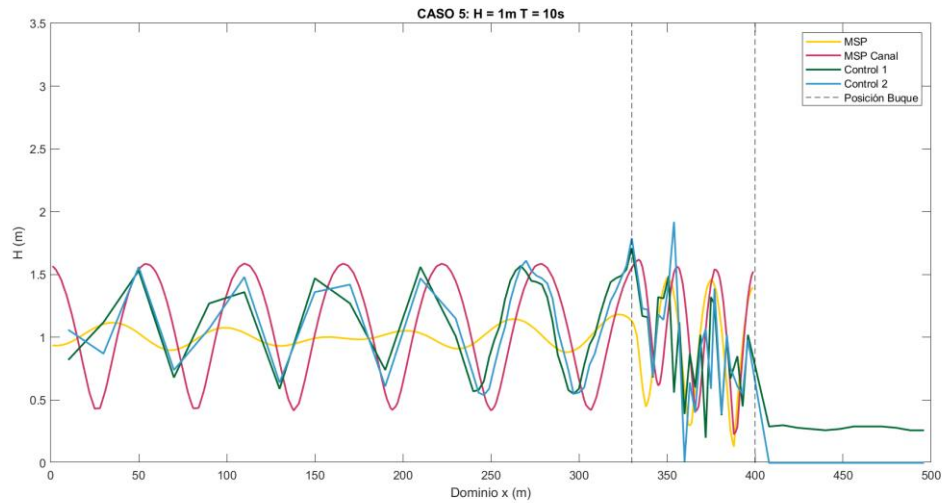


Figura 42. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 5)

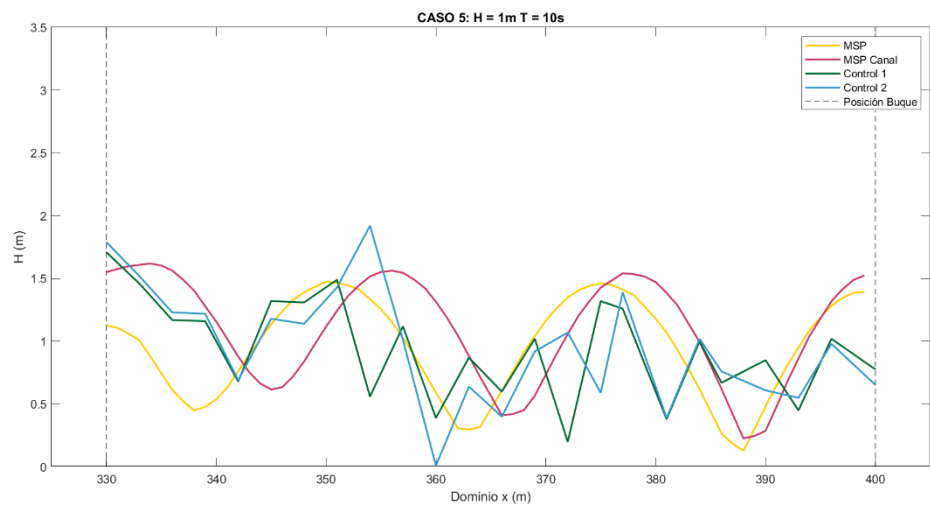


Figura 43. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 5)

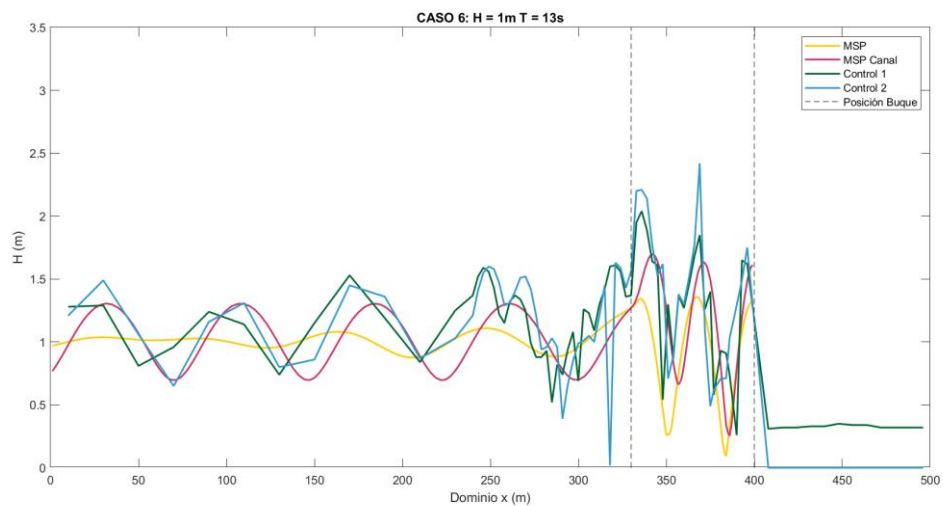


Figura 44. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio completo - CASO 6)



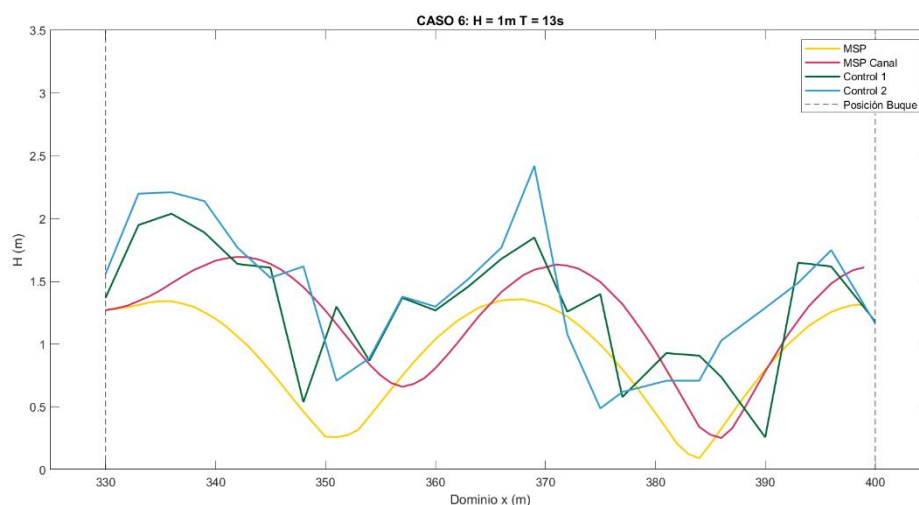


Figura 45. Resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación (Dominio buque - CASO 6)

Una vez observados todos los resultados obtenidos del análisis comparativo de los procesos de agitación para los modelos IH2VOF y MSP se pueden destacar varios aspectos compartidos por todos los gráficos de forma general. Para cada uno de los casos considerados se muestran dos figuras: Una primera figura mostrando los resultados de todo el dominio y una segunda figura mostrando los resultados únicamente de la parte del dominio correspondiente al dique. Esto se ha realizado, para poder observar los resultados del dominio correspondiente al dique con más detalle.

Se puede observar cómo los comportamientos de las dos configuraciones realizadas en el modelo MSP varían, encontrando una mayor  $H$  fuera del buque para el caso del MSP en forma de canal para todos los casos considerados. Las configuraciones realizadas para el modelo IH2VOF muestran resultados muy similares entre ellos en la zona tanto exterior como interior del buque. En el caso de la configuración “Control 1” para el modelo IH2VOF, se puede observar cómo transmite algo de oleaje por la parte inferior del buque (Aproximadamente entre 10% y un 40%). En el caso de la configuración con el obstáculo, debido a este mismo, no se transmite nada de oleaje. Se puede observar también como para la mayoría de los casos coincide la fase de la onda para las 4 configuraciones consideradas. Los resultados del modelo MSP son mucho más suavizados porque se ha obtenido información para cada metro del dominio, en cambio, para el modelo IH2VOF los resultados se han obtenido en varios puntos del dominio, encontrando en el interior del dique puntos de control cada 3 m.

Se observa en la mayoría de las figuras una disminución progresiva de la altura de ola en el interior del dique, además, en el interior del dique las 4 configuraciones muestran resultados muy similares, de ordenes de magnitud parecidos, a diferencia de la zona exterior del dominio.

Finalmente, después de haber comentado de forma general los resultados observados para todos los casos considerados obtenidos de la evaluación de las cuatro geometrías consideradas y para los dos modelos numéricos, se deben destacar varios puntos importantes que se desarrollan a continuación.

En primer lugar, destacar que las 4 configuraciones han funcionado correctamente, puesto que, en términos generales, los resultados son semejantes (en  $H$  y fases en el interior del buque) entre sí, para todos los casos que se han evaluado.

Dado que la configuración que presenta un dominio de 400 x 400 m en el modelo MSP es mucho más amplia en comparación a las configuraciones del modelo IH2VOF que simulan un canal, cuando el oleaje refleja y sale del interior del buque se propaga por todo el dominio, en cambio, en el modelo IH2VOF, una vez se refleja el oleaje sale del interior del dique unidireccionalmente, por tanto, la energía queda mucho más confinada.

Al incluir la segunda configuración en el modelo MSP en forma de canal, se ha podido observar en los resultados mostrados anteriormente, como este segundo caso para el modelo MSP muestra resultados muy similares a los que proporciona el modelo IH2VOF en la zona exterior del buque.

Otro aspecto a tener en cuenta es la diferencia que se puede observar en los resultados entre ambos modelos, encontrando resultados mucho más suavizados para el modelo MSP. Como se ha explicado en algunos casos expuestos anteriormente, los resultados del modelo MSP se han obtenido leyendo los mapas de agitación que proporciona el modelo, por lo que es posible obtener una evolución continua en comparación a los resultados del modelo IH2VOF que se realiza de forma puntual y discreta en el espacio.

En el caso del modelo IH2VOF, se observa un comportamiento muy similar entre las dos configuraciones consideradas. En el caso de la configuración con obstáculo se puede observar claramente cómo (lógicamente) no transmite nada de oleaje por debajo del buque. La configuración "Control 1" sí muestra esa transmisión por debajo del buque, aproximadamente transmite algo menos de la mitad del oleaje incidente, aunque depende del periodo de este mismo. Se puede ver como a medida que aumenta el periodo del oleaje incidente la transmisión aumenta, llegando a un 40% aproximadamente para los periodos más elevados que han sido considerados (13s y 15s) y entre un 10% y un 20% para los periodos más bajos que han sido considerados (7s y 9s). Aun teniendo en cuenta esa diferencia en las configuraciones y en los resultados en la zona del dominio que queda detrás del dique, para el resto del dominio ambas configuraciones muestran resultados muy similares. La similitud entre resultados, en gran parte viene dada porque, aunque en el caso de la primera configuración se transmita oleaje por la parte inferior, es un porcentaje que para la mayoría de los casos es bajo (entre un 10% y 20% de transmisión y llegando a máximos de un 40% aproximadamente), aunque depende del periodo del oleaje incidente.

Si se centra la atención en la zona interior del buque, se puede observar como el comportamiento general es muy similar para las 4 configuraciones de los dos modelos considerados. La evolución a lo largo del dominio y las magnitudes que han sido obtenidas son muy similares de forma general.

Si evaluamos los resultados de forma más detallada se pueden observar diferencias que pueden estar altamente condicionadas por los T's individuales de cada caso, tal y como se ha mostrado en al anterior test 1 (test de amplificación).

En general, cabe destacar que, en la zona del interior del dique, los resultados del modelo IH2VOF muestran más oscilaciones en comparación con el modelo MSP, donde en la mayoría de los casos muestra un comportamiento mucho más suavizado con aproximadamente una longitud de 3 ondas para la mayoría de los casos.

Esta diferencia se debe a que el modelo IH2VOF puede resolver el comportamiento no lineal de la onda y por lo tanto, la transferencia de energía entre distintas frecuencias del espectro es

posible, especialmente en el proceso de creación de súper-armónicos debido al cambio abrupto de la batimetría.

#### 4.2.4 **Conclusiones**

Finalmente, una vez discutidos los resultados obtenidos de los diferentes casos evaluados en el test 2, se puede concluir que el modelo MSP puede emplearse de forma adecuada en la explotación general del proyecto, ya que las diferencias observadas en los valores de H entre ambos modelos son bajas y en la práctica incluso despreciables, si piensa en evaluar distintos escenarios de penetración de oleaje con base en distintas orientaciones de embarcación, donde lo que importa es observar distintas posibilidades comparativas para una misma estrategia de fondeo.

Por otro lado, el modelo MSP ha demostrado ser suficientemente robusto para gestionar el abrupto cambio en la batimetría y la subsecuente propagación de la onda hacia el interior del buque.

Adicionalmente, al comparar los casos Control 1 y 2 con el modelo IH2VOF, se observa que la transmisión de oleaje por debajo de la embarcación es baja y no incluye de manera sustancial en la penetración/agitación del oleaje hacia la dársena.

Finalmente, es importante destacar que estas conclusiones deberán ser revisadas y corroboradas en futuros estudios comparativos entre ambos modelos, empleando forzamientos de oleaje irregular.

### 4.3 **TEST 3 – COEFICIENTES DE REFLEXIÓN**

El último test que se ha llevado a cabo ha sido el estudio de coeficientes de reflexión. El objetivo de este estudio es cuantificar el valor que presentan distintas partes del buque en función de la reflexión del oleaje que se produce de cara al montaje final. Para poder cuantificar dichos coeficientes y asignarlos al modelo MSP en su montaje final de cara a su explotación general dentro del proyecto/estudio.

Para ello se han planteado 3 escenarios diferentes en relación con el montaje del modelo IH2VOF.

#### 4.3.1 **Metodología**

Para cuantificar los coeficientes de reflexión se han seguido las indicaciones que propone Mansard y Funke, 1980 en su artículo titulado *“The measurement of Incident and Reflected Spectra using a Least Squares Method”*. Para ello se deben tener en cuenta 3 sensores colocados en determinadas localizaciones según lo indicado en el artículo.

A continuación, en la Figura 46, se presenta un esquema de la regla de colocación de los 3 sensores para posteriormente poder calcular el coeficiente de reflexión.

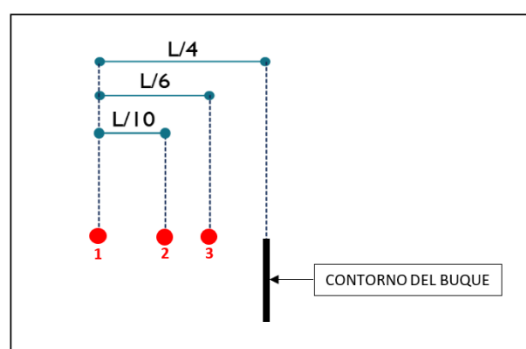


Figura 46. Metodología seguida para localización de los puntos de control para el cálculo de los coeficientes de reflexión.

Siguiendo el esquema que se puede observar en la Figura 46, la metodología para conocer la posición de los sensores es la siguiente: se calcula la longitud de onda asociada al periodo del oleaje incidente y al calado del dominio. El primer sensor irá localizado a una distancia igual a  $L/4$  respecto al contorno del buque que se esté estudiando. El segundo sensor se localizará a una distancia igual a  $L/10$  respecto al primer sensor. Finalmente, el último sensor estará localizado a una distancia igual a  $L/6$  respecto al primer sensor.

Una vez conocido el procedimiento para calcular las posiciones donde se deben colocar los puntos de control o sensores, se exponen en la Tabla 10 las geometrías consideradas en el modelo IH2VOF para el cálculo de los coeficientes de reflexión.

Tabla 10. Resumen de geometrías consideradas para el estudio de los coeficientes de reflexión.

Nº Ensayo	GEOMETRÍA	ASPECTOS TÉCNICOS	JUSTIFICACIÓN
3.1		El primer caso es el que simula de la forma más realista posible la entrada del oleaje en el interior del dique, permitiendo la transmisión del oleaje por la zona inferior del dique.	Este primer caso ha sido escogido para poder cuantificar los coeficientes de reflexión que deben imponerse en la zona del interior del dique.
3.2		El segundo caso simula lo mismo que en el caso anterior, pero impidiendo que se transmita oleaje por debajo del buque.	Este segundo caso ha sido considerado para poder comparar que diferencia se obtiene en el coeficiente de reflexión respecto al primer caso considerando que en este caso no se transmite oleaje por debajo del buque.
3.3		El tercer caso simula la interacción del oleaje con los laterales del buque, permitiendo la transmisión del oleaje por debajo del dique.	Por último, este caso ha sido considerado para cuantificar el coeficiente de reflexión que se le debe dar al contorno exterior del

			buque de cara al caso final.
--	--	--	------------------------------

Una vez decididas las 3 geometrías a evaluar para cuantificar los coeficientes de reflexión, las tres se ejecutaron con el modelo IH2VOF para un único caso de oleaje. Se han ejecutado las 3 configuraciones consideradas con un oleaje monocromático de 2 m de altura de ola y 12 s de periodo

#### 4.3.2 Resultados y Discusiones

En primer lugar, se adjuntan los resultados correspondientes a la localización de los sensores para los 3 casos o forzamientos considerados (Ver Tabla 11). Para el caso 1 y el caso 2 los sensores se localizan en las mismas posiciones dado que el contorno con el que interactúan y el cual determinará el coeficiente de reflexión se encuentra en la misma posición para ambas geometrías.

*Tabla 11. Localización de los sensores en el dominio para el cálculo de los coeficientes de reflexión.*

CASO	L (m)	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
1 y 2	139.1	363.2	377.1	386.4
3	139.1	345.2	359.1	368.4




En segundo lugar, se adjuntan los resultados correspondientes a los tiempos computacionales para cada uno de los casos (Ver Tabla 12).

*Tabla 12. Tiempos computacionales de los casos considerados.*

CASO	H (m)	T (s)	MONTAJE	DURACIÓN	TIEMPO COMPUTACIONAL
1	2	12	Realidad	800	8h 30'
2	2	12	Realidad + Obstáculo	800	8h
3	2	12	Lateral Buque	800	6h 30'

Finalmente, se adjuntan los resultados correspondientes a los coeficientes de reflexión obtenidos para cada uno de los casos ejecutados (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Coeficientes de reflexión obtenidos para los contornos del buque.

Nº DE Ensayo	GEOMETRÍA	COEFICIENTE DE REFLEXIÓN
3.1		0.83
3.2		0.84
3.3		0.52

Observando los resultados que han sido obtenidos se puede ver como entre el ensayo 3.1 y 3.2, la diferencia entre los respectivos coeficientes de reflexión es de 0.1, es decir, que prácticamente son idénticos.

El coeficiente del ensayo 3.2 es ligeramente superior dado que como en este caso no se transmite nada de oleaje es lógico que la reflexión sea superior en comparación al coeficiente de reflexión obtenido para el primer test.

Si se comparan los resultados que han sido obtenidos con el ensayo 3.3 se puede observar una gran diferencia en el valor de los coeficientes de reflexión. Esta diferencia probablemente sea debida a la posición del buque que se representa en cada uno de los ensayos.

En el caso del ensayo 3.1, al estudiar la reflexión en el interior del dique se plasma en el montaje del test lo que mide de eslora el interior de este, siendo aproximadamente unos 70 m. En cambio, en el tercer test se plasma el ancho del buque, siendo aproximadamente 20 m. Entre los ensayos 3.1 y 3.3 por tanto hay una diferencia de unos 50 m de estructura. Considerando que un porcentaje del oleaje se transmite por debajo del buque es posible que en el caso del ensayo 3.3 se transmita más oleaje por debajo del buque que el porcentaje que pueda transmitirse en el ensayo 3.1, por tanto, el oleaje que se refleja es inferior en el ensayo 3.3 que en el 3.1.

#### 4.3.3 Conclusiones

Finalmente, se puede concluir que los coeficientes de reflexión de los diferentes contornos del buque han sido cuantificados, para poder considerarlos de cara al montaje final del modelo MSP, el cual se explicará en el capítulo 5 del presente TFM

### 5. MONTAJE FINAL DEL MODELO MSP

Una vez realizados los test necesarios para poder cuantificar y valorar la validez/fiabilidad del modelo MSP para llevar a cabo este trabajo, se presenta en este capítulo el diseño del montaje final.

Si se piensa en el diseño de un sistema automático en forma de operativa forecast tradicional, los pasos generales a seguir son:

- a) Acceder y descargar a la predicción de oleaje del proveedor operacional seleccionado.
- b) Ejecutar en el modelo MSP con el montaje final, para cada hora de predicción y orientación que el usuario considere.
- c) Generar el informe de predicción para su uso e interpretación por parte del usuario final.

Sin embargo, los requerimientos de eficiencia que un sistema de esta característica requiere, no se puede permitir la ejecución del modelo MSP para todas las horas y las posibles orientaciones de fondeo del buque que el usuario proponga, ya que el tiempo de cálculo puede subir con rapidez, especialmente si se piensa trabajar en un futuro con forzamientos espectrales.

Por ello, y para poder ofrecer una solución eficiente, se plantea el concepto del catálogo “pre-ejecutado”, para que este sustituya al paso de “ejecución” y se convierta en un paso de “búsqueda” del mapa de agitación previamente ejecutado y accesible de forma ágil a través de dicho catálogo.

Esta idea de pre-ejecución y creación de un catálogo, para que sea efectiva, debe garantizar que cubra toda la casuística posible de estados de mar, profundidades de fondeos y orientaciones de la embarcación a analizar, es decir, la estrategia debe contar con un rango y resolución de forzamientos y orientaciones de buque alto y con un gran número de casos.

Por ello y para ejemplificar este proceso en el presente TFM, se ha propuesto un catálogo con una resolución (media) de 1258 casos en total.

No obstante, y como se puede ver en el capítulo 6, la arquitectura del sistema de predicción permite el intercambio de ficheros de catálogo pre-ejecutado, por lo que esta sub-parte del sistema es intercambiable de forma directa.

## 5.1 ASPECTOS TÉCNICOS DEL MONTAJE FINAL

En primer lugar, era necesario considerar las dimensiones del buque de forma más realista para poder realizar el montaje lo más fiel a la realidad posible. El buque representado en el montaje presenta unos 300 m de eslora y 40 m de manga. La zona inundable del dique presenta unos 100 m de longitud y 24 m de ancho. El buque ha sido situado en el centro del dominio considerado. Se adjunta un plano del buque para poder entender mejor el diseño que ha sido creado para representar el buque en el montaje final (Ver Figura 47).

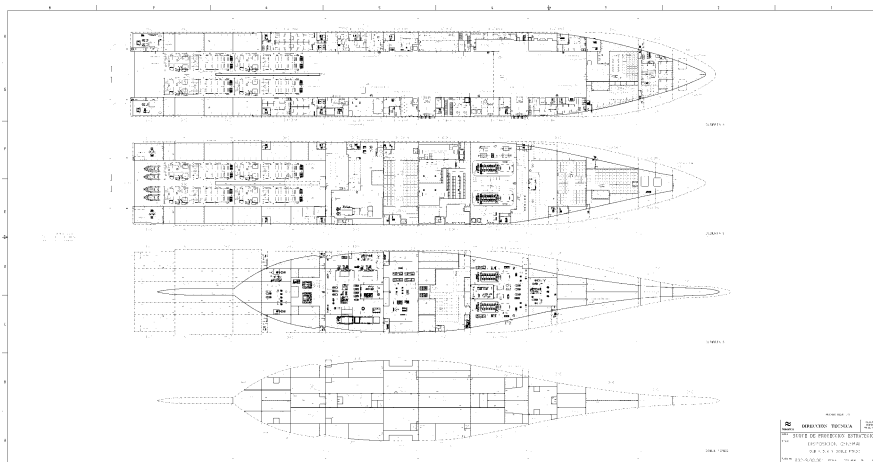


Figura 47. Plano del buque "Juan Carlos I".

En la Figura 48 se pueden observar las dimensiones definidas. El montaje final presenta un calado uniforme en todo el dominio de 150 m, simulando el momento en que el buque debe varar en altas profundidades para realizar las operaciones anfibas. En la zona inundable del interior del buque el calado es constante a 2.3 m. El calado del interior del buque ha sido considerado de 2.3 después de haber consultado con el Jefe de Control del buque que calado se alcanzaba en el interior del buque después de desplegar la rampa por completo.

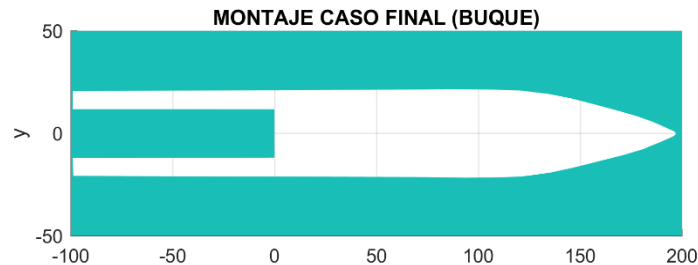


Figura 48. Representación del buque en el montaje final.

El montaje final consiste en una malla circular en elementos finitos. Se realizó este tipo de malla para así permitir que un único diseño fuese útil para todas las direcciones consideradas. El mallado en este caso presenta un total de 51438 combinaciones de tripletes que definen los diferentes triángulos que configuran la malla. Se puede observar el montaje del caso final con la malla considerada en la Figura 49.

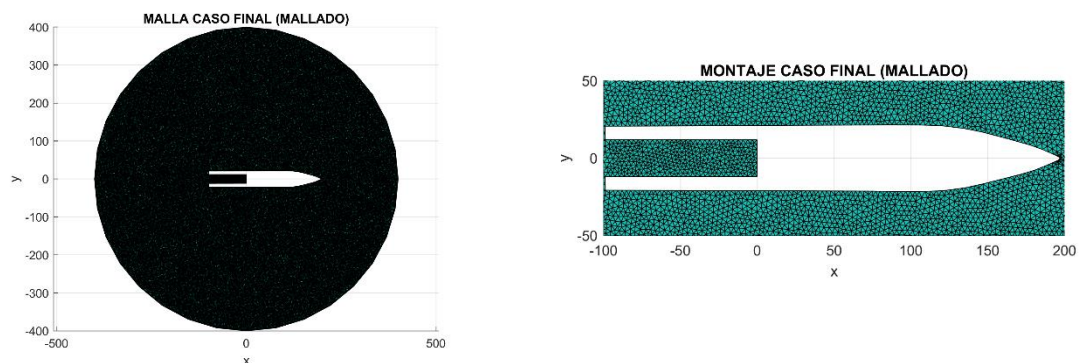


Figura 49. Montaje final para el estudio de agitación en el interior del buque "Juan Carlos I" con el modelo MSP.

## 5.2 CASOS CONSIDERADOS PARA EL CATÁLOGO:

En este caso se han considerado:

- 8 alturas de ola distintas: 0.25 – 0.5 – 1 – 2 – 4 – 6 – 8 – 10.
- 7 periodos distintos: 5 – 7 – 9 – 11 – 13 – 15 – 17.

Ambos han sido combinados de la siguiente forma (Ver Figura 50):



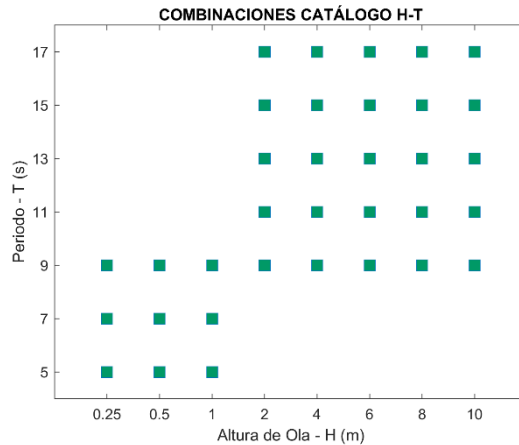


Figura 50. Combinaciones H-T consideradas para el catálogo.

Es decir, que en total se han considerado 34 combinaciones de alturas de ola y periodos. Para cada combinación, se han realizado 37 casos considerando diferentes ángulos de incidencia del oleaje. Estos ángulos han sido seleccionados considerando únicamente la mitad del dominio. Esto es debido a que el dominio es simétrico, por tanto, únicamente ejecutando los casos que cubran la mitad del dominio se consigue tener todo el dominio considerado resuelto.

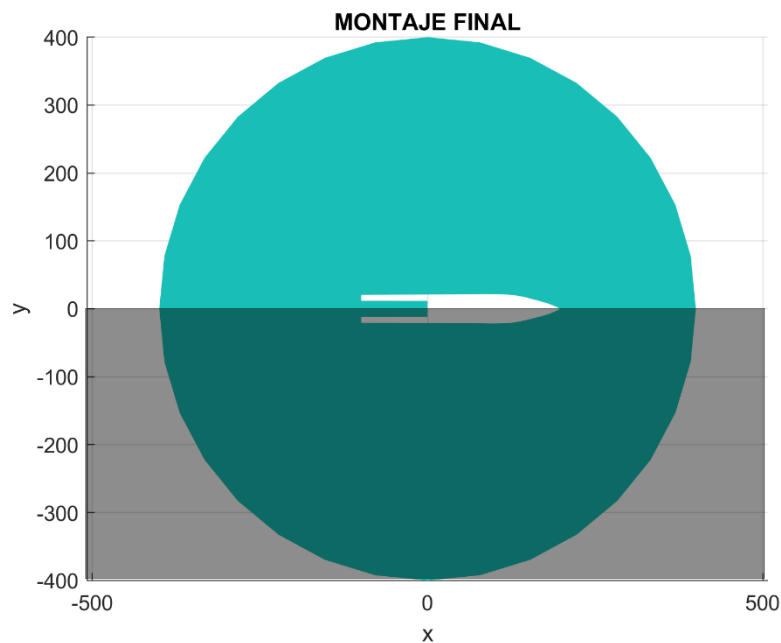


Figura 51. Dominio considerado para el catálogo.

Si consideramos la Figura 51, se puede observar la simetría del dominio. Esto facilita que todos los casos considerados en el catálogo tengan un caso en la zona no ejecutada del dominio que afecte de la misma forma al buque. Es decir, un oleaje que incide con  $85^\circ$  afectará al buque de la misma forma que un oleaje que incida con un ángulo de  $95^\circ$ .

Como se puede observar en la Figura 51, únicamente se consideró para el catálogo la zona superior del dominio (No sombreada). Es decir, se consideraron los oleajes incidentes desde  $270^\circ$  hasta  $90^\circ$ , por tanto  $180^\circ$  considerados con un intervalo de  $5^\circ$  entre caso y caso, siendo un total de 37 casos como se ha comentado anteriormente.

Por tanto, el catálogo ejecutado en este caso está compuesto por un total de 1258 combinaciones de H,T y dirección.

A continuación, se adjuntan varias figuras donde se muestran los resultados obtenidos del catálogo pre-ejecutado. Se muestran mapas de superficie libre y de agitación (H) (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Ejemplos catalogo pre-ejecutado.

Nº EJEMPLO	MAPA SUPERFICIE LIBRE	MAPA AGITACIÓN (H)
<b>EJEMPLO 1</b>  En este primer ejemplo, se muestran los mapas de superficie libre y de agitación para un oleaje incidente de $H = 0.26$ , $T = 5$ s y un ángulo de incidencia de $270^\circ$ o $-90^\circ$ .		
<b>EJEMPLO 2</b>  En este primer ejemplo, se muestran los mapas de superficie libre y de agitación para un oleaje incidente de $H = 2$ , $T = 13$ s y un ángulo de incidencia de $315^\circ$ o $-45^\circ$ .		
<b>EJEMPLO 3</b>  En este primer ejemplo, se muestran los mapas de superficie libre y de agitación para un oleaje incidente de $H = 4$ , $T = 15$ s y un ángulo de incidencia de $45^\circ$ .		
<b>EJEMPLO 4</b>  En este primer ejemplo, se muestran los mapas de superficie libre y de agitación para un oleaje incidente de $H = 6$ , $T = 9$ s y un ángulo de incidencia de $90^\circ$ .		

## 6 MONTAJE FORECAST

La última parte del proyecto consiste en el montaje del sistema de predicción temprana o forecast. Dicho sistema consiste en la conexión a un proveedor de datos meteo-oceanográficos operacional, descargar los datos de oleaje espectral en el punto de interés (Hs, Tp y Dirección) y evaluar la agitación dentro del buque para cada hora de la predicción con base en el uso del catálogo pre-ejecutado con el modelo MSP. En total, se descargan 72 horas de predicción, es decir, se trabajará sobre 72 datos diferentes de Hs, Tp y Dir. A continuación, se explican los pasos dados en relación con el montaje del sistema.

**Paso 1.** El primer paso es conectar con el proveedor operacional que aportará los datos de oleaje (forecast) necesarios. En el caso de este trabajo se ha escogido como proveedor operacional Puertos del Estado que aporta predicciones de oleaje a 72 horas vista.

Puertos del Estado aporta de forma operacional predicciones de oleaje a gran escala, escala regional, escala costera y escala portuaria. Para ejemplificar el uso y montaje del sistema, en el presente estudio se ha considerado la escala regional, y dentro de esta, se ha trabajado con la malla que contempla el dominio de la Península Ibérica y Baleares. A continuación, en la Figura 52 se adjunta una imagen del dominio espacial que considera la malla.



Figura 52. Dominio espacial montaje Forecast.

Ahora bien, la descarga de la predicción se lleva a cabo para una localización en concreto. Esta funcionará siempre y cuando la localización escogida se encuentre dentro del dominio espacial mostrado anteriormente. En el presente trabajo se ha llevado a cabo un mapa interactivo donde se pueda seleccionar la supuesta ubicación del buque con un solo *click*. A continuación, se explica el proceso detallado.

Una vez aparece el mapa mostrando el dominio a considerar, aparece una ventana superpuesta, donde se pregunta a la persona que ejecute el código si desea hacer zoom en el mapa. Si la persona prefiere no hacer zoom, automáticamente el programa está configurado para que la persona pueda seleccionar su punto de interés donde desee descargar la predicción. Si la persona sí desea hacer zoom en el mapa, aparece una nueva ventana, preguntando si desea acercarse a la zona norte del mapa o bien a la zona sur. Una vez seleccionada la opción, el mapa muestra un nuevo dominio espacial, apareciendo de forma más cercana la zona del mapa seleccionada. Se puede observar en la Figura 53 las dos opciones que se proporcionan.

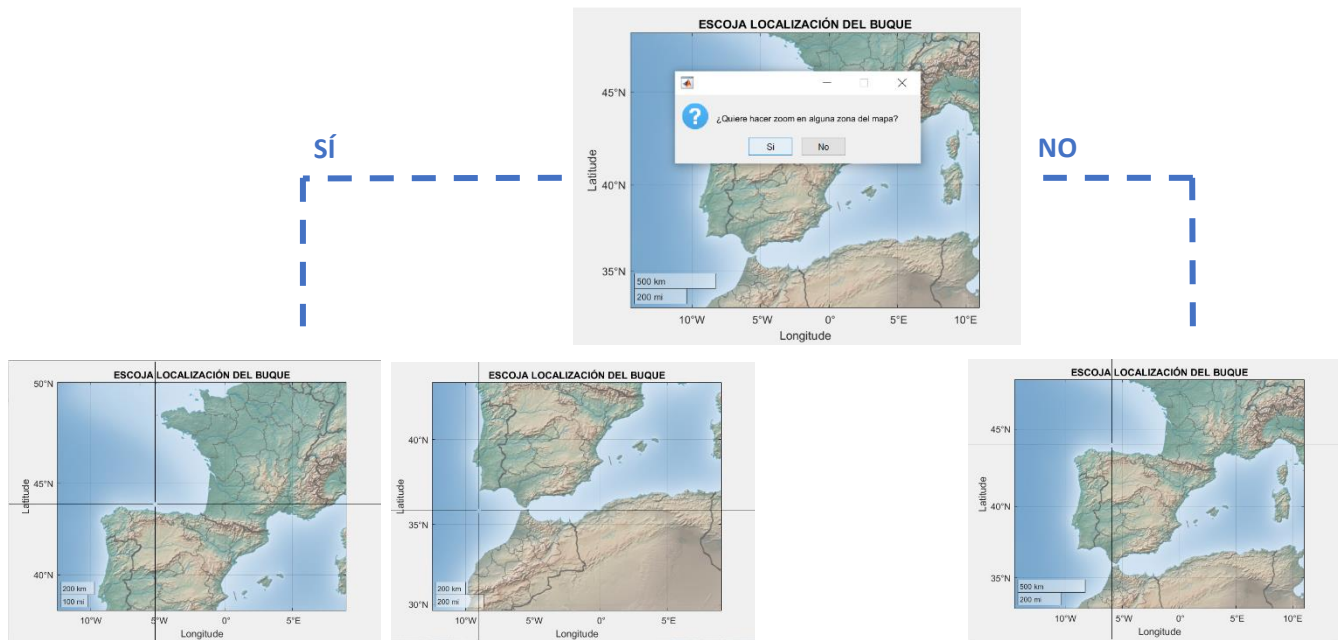


Figura 53. Primeras opciones zoom montaje Forecast (Norte-Sur).

Después de escoger si se quiere hacer zoom considerando las opciones Norte y Sur, aparece una nueva ventana una vez se ha hecho el zoom preguntando si se desea hacer más zoom. Si la opción escogida en este caso es no, de la misma forma que para los casos anteriores, aparecen en la ventana del mapa la opción para seleccionar el punto de interés. Por otro lado, si se escoge la opción de hacer más zoom, aparece una nueva ventana preguntando si el zoom se desea hacer en la zona este o bien en la zona oeste. Una vez se escoge la opción, el dominio espacial que muestra el mapa se reduce todavía más y aparece directamente la opción de seleccionar el punto en el mapa que se desee. A continuación, se adjuntan las Figuras 54 y 55, mostrando las nuevas opciones comentadas.



Figura 54. Segundas opciones de zoom para el montaje Forecast (Norte → Oeste/Este).



Figura 55. Segundas opciones de zoom para el montaje Forecast (Sur → Oeste/Este).

Una vez se selecciona el punto representativo de la localización del buque, aparece una nueva ventana preguntando si se desea escoger una nueva localización. Esta última ventana ha sido creada para que, si la persona que esté ejecutando el código se equivoca marcando el punto en el mapa, pueda rectificar antes de pasar al siguiente paso y de esta forma no tenga que parar el código y volver a ejecutarlo.

**Paso 2.** Una vez marcada la localización del buque, aparece una nueva figura, donde se puede ver el buque con la posición inicial que se le ha dado. Encima de esa Figura, aparece una nueva ventana donde se debe introducir la orientación que presenta el buque respecto a esa posición inicial o respecto al norte. Se debe introducir el ángulo de giro del buque respecto a esa posición inicial. Para poder representar en buque con la nueva orientación se utilizan las siguientes ecuaciones para poder obtener las coordenadas del dominio rotadas según el nuevo ángulo que se defina. Las ecuaciones de rotación de las coordenadas son las siguientes:

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\y' &= x \sin \theta + y \cos \theta\end{aligned}$$

A continuación, se adjunta un ejemplo considerando la orientación del buque de 45º respecto el norte (Ver Figura 56).

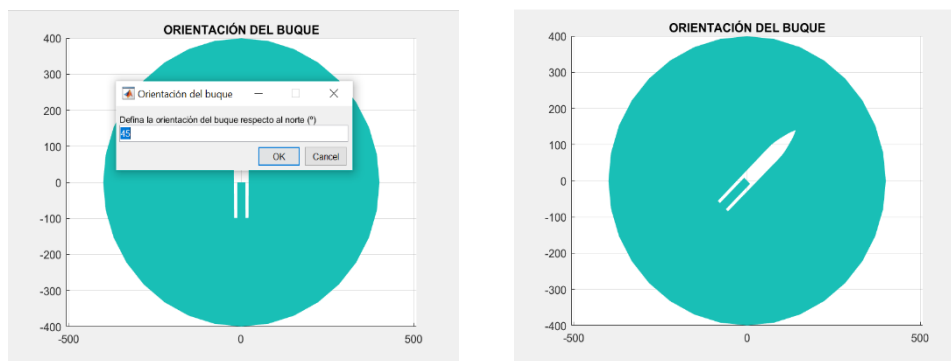


Figura 56. Ejemplo cambio orientación del buque respecto a la posición de partida.

De la misma forma que para la localización del buque, finalmente aparece una nueva ventana por si antes de continuar se desea cambiar la orientación.

**Paso 3.** En el momento en que la localización del buque y la orientación de este mismo quedan definidos empieza a descargarse la predicción de las próximas 72 horas. En el código se puede ir siguiendo por qué hora respecto el total va la descarga. A continuación, se adjunta una Figura 57 que muestra el seguimiento que proporciona el código de la evolución de la descarga de la predicción.

```
Command Window
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 1 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090301; fecha creada 2020090301
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 2 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090302; fecha creada 2020090302
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 3 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090303; fecha creada 2020090303
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 4 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090304; fecha creada 2020090304
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 5 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090305; fecha creada 2020090305
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 6 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090306; fecha creada 2020090306
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 7 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090307; fecha creada 2020090307
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 8 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090308; fecha creada 2020090308
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 9 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090309; fecha creada 2020090309
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 10 de 72
----> Oleaje fecha leída: 2020090310; fecha creada 2020090310
--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora 11 de 72
```

Figura 57. Evolución descarga de la predicción de oleaje en el código del montaje Forecast.



**Paso 4.** Una vez se descarga la predicción por completo, comienza la búsqueda del caso más similar que pueda existir para cada hora de predicción en el catálogo pre-ejecutado. Para ello, el funcionamiento es el siguiente.

En primer lugar, se prescinde de las columnas del input del catálogo que no son necesarias y únicamente se consideran: H, T y Dirección. Las direcciones, como se ha explicado anteriormente, únicamente consideran 180° del total del dominio, es decir, la mitad. Para poder considerar la orientación del buque, se aplica un cambio en las direcciones del input del catálogo sumando a estas la orientación del buque. Siguiendo el ejemplo considerado anteriormente de 45° de orientación del buque, en la Figura 58, se muestra el rango de direcciones que se consideran en el input del catálogo considerando el barco a 0° respecto al norte y en la Figura 57 se muestra el rango de direcciones del input del catálogo para el caso del ejemplo, de 45° respecto al norte.

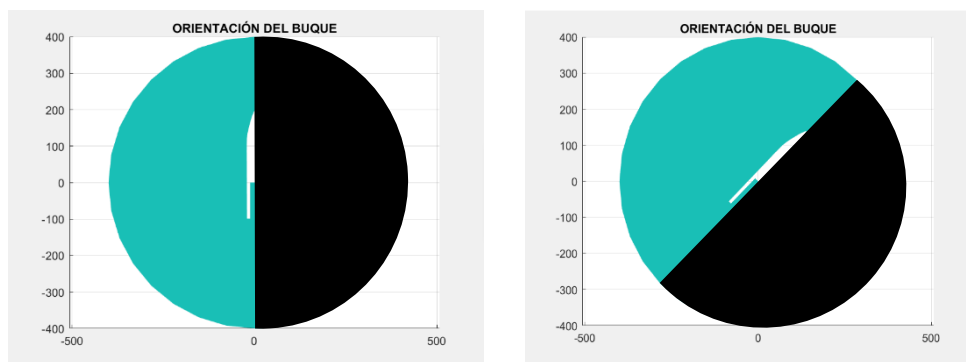
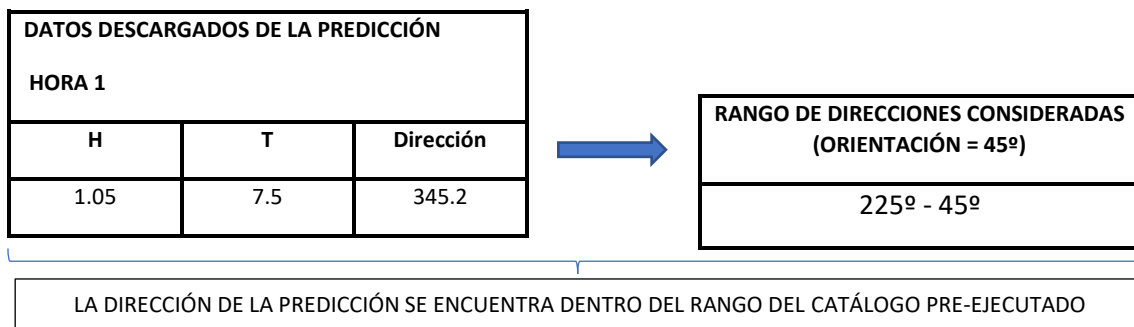


Figura 58. Dominio considerado después de aplicar la nueva orientación del buque.

De esta forma, se consigue que el rango de ángulos considerados en el catálogo siga correspondiendo a la mitad del dominio, por tanto, la simetría siga cumpliéndose para así poder resolver todo el dominio.

**Paso 5.** El siguiente paso es buscar el caso más similar del catálogo para cada hora de predicción descargada del proveedor operacional. Esto se realiza de la siguiente forma: Se considera para cada hora de predicción la variable de altura de ola significativa, periodo de pico y dirección de pico. El caso ideal se da cuando la dirección de la predicción se encuentre dentro del rango de direcciones pre-ejecutadas del catálogo. En ese caso, se busca el caso más similar en el catálogo. Esto se ha hecho considerando rangos de Hs, Tp y Dir. Es decir, se busca dentro del catálogo cual es la posición en la cual se cumpla que la altura de ola de predicción este entre  $H_{\text{catálogo}} - X$  y  $H_{\text{catálogo}} + X$ , a la vez, el periodo de la predicción que se encuentre entre  $T_{\text{catálogo}} - Y$  y  $T_{\text{catálogo}} + Y$  y finalmente, que dirección de la predicción se encuentra entre  $Dir_{\text{catálogo}} - Z$  y  $Dir_{\text{catálogo}} + Z$ , donde “X”, “Y” y “Z” son diferentes incrementos que se imponen en función del tipo de variable.

Siguiendo con el ejemplo considerado de orientación 45°, se explica en detalle cómo se busca el caso más similar en el catálogo.



La búsqueda se realiza identificando el caso pre-ejecutado que intercepte cada uno de los rangos siguientes:

- Tiene una altura de ola que esté entre  $1.05 \pm 0.25$  (Entre 0.8 y 1.3).
- Tienen un periodo que esté entre  $7.5 \pm 1.5$  (Entre 6 y 9).
- Tiene una dirección que esté entre  $345.2 \pm 5$  (Entre 340.2 y 350.2).

Considerando el primer punto, la única altura de ola en el catálogo que se encuentra entre 0.8 y 1.3 m es la que presenta valor de 1 m. Considerando los periodos ejecutados junto a una altura de ola de 1 m, se considerarían 7 y 9 s, estando las dos opciones dentro del rango posible. En cuanto a las direcciones, aparecerían dos posibilidades más, dado que el incremento del catálogo es de 5° en 5°, por tanto, se considerarían como opciones 345° y 350°. En total, habría 4 casos posibles (Ver Tabla 15):

Tabla 15. Opciones consideradas del catálogo para el ejemplo propuesto.

CASOS POSIBLES PARA REPRESENTAR LA PRIMERA HORA DE PREDICCIÓN		
H	T	Dir
1	7	345
1	7	350
1	9	345
1	9	350

Para decidir cuál es el caso del catálogo que mejor representa la predicción, se ha propuesto lo siguiente:

Se calcula la diferencia en valor absoluto entre el valor real de la predicción y el valor del catálogo para los tres tipos de variables. Una vez se obtienen los valores individuales, se suman las diferencias para cada opción considerada. Se considerará el caso más similar aquel que muestre la menor diferencia para las 3 variables. Siguiendo con el ejemplo (Ver Tabla 16):

Tabla 16. Selección del caso más similar calculando la diferencia de las diferentes variables.

CASOS POSIBLES PARA REPRESENTAR LA PRIMERA HORA DE PREDICCIÓN			
Diferencia H	Diferencia T	Diferencia Dir	Diferencia total
$ 1.05 - 1  = 0.05$	$ 7.5 - 7  = 0.5$	$ 345.2 - 345  = 0.2$	$0.05+0.5+0.2 = 0.75$
$ 1.05 - 1  = 0.05$	$ 7.5 - 7  = 0.5$	$ 345.2 - 350  = 4.8$	$0.05+0.5+4.8 = 5.35$
$ 1.05 - 1  = 0.05$	$ 7.5 - 9  = 1.5$	$ 345.2 - 345  = 0.2$	$0.05+1.5+0.2 = 1.75$
$ 1.05 - 1  = 0.05$	$ 7.5 - 9  = 1.5$	$ 345.2 - 350  = 4.8$	$0.05+1.5+4.8 = 6.35$

En este caso, el primer caso del catálogo pre-ejecutado que ha sido considerado (1m,7s y 345º) es el más similar al caso de la predicción. A partir de este momento, el caso real de la predicción pasa a ser representado por el caso más similar que se encuentra en el catálogo, por tanto, los resultados que se muestren serán los correspondientes al caso del catálogo.

Este sería el procedimiento a seguir para lo que se ha definido anteriormente como el caso más ideal, pero podría ser que la dirección con la que incide el oleaje de la predicción descargada del proveedor operacional no aparezca en las direcciones consideradas en el catálogo. Lo que se ha hecho para resolver este problema, ha sido calcular las diferencias que existen entre el primer ángulo del rango considerado en el catálogo y la dirección de la predicción y por otro lado, calcular la diferencia entre el último ángulo del rango considerado y la dirección de la predicción. Se considerará la diferencia más pequeña, siendo esta la distancia en grados que hay entre el ángulo de incidencia real y el ángulo límite más cercano del rango considerado. Si existe una menor distancia con el primer ángulo del catálogo lo que se hace es sumar la diferencia. Si en cambio, la distancia mínima es con el último ángulo considerado del catálogo, se le restará la diferencia. A continuación, se adjunta un ejemplo:

DATOS DESCARGADOS DE LA PREDICCIÓN		
HORA 1		
H	T	Dirección
1.05	7.5	50

RANGO DE DIRECCIONES CONSIDERADAS (ORIENTACIÓN = 45º)
225º - 45º

LA DIRECCIÓN DE LA PREDICCIÓN NO SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANGO DEL CATÁLOGO PRE-EJECUTADO

Se calcula la distancia que hay de la dirección de la predicción real a los extremos del rango considerado (Ver Tabla 17):



Tabla 17. Cálculo distancia entre ángulos para el ejemplo propuesto.

DISTANCIA EN GRADOS PARA UN ÁNGULO FUERA DEL RANGO CONSIDERADO:
$ 225 - 50  = 175$
$ 45 - 50  = 5$

En este caso, la distancia menor es de 5 grados, la cual cosa quiere decir que un oleaje con 40º de incidencia causará una agitación en el interior del buque exactamente igual que la que causaría un oleaje con 50º de incidencia. Por tanto, el caso de la predicción pasa a ser representado por un ángulo de incidencia del oleaje de 40º en vez de 50º, dado que si hablamos en términos de agitación nos encontraríamos delante del mismo caso al hablar de 40º que de 50º de incidencia del oleaje para este ejemplo en concreto.

Una vez se obtiene cual es el caso más representativo del catálogo para todas las horas de predicción, se generan los mapas de agitación para todas las horas de predicción consideradas. Para generar los mapas de agitación lo que se hace es considerar las posiciones de aquellos casos de los inputs del catálogo pre-ejecutado que representen los casos de predicción considerados y se obtienen los resultados del catálogo pre-ejecutado para esas posiciones concretas, es decir, para esos casos que han sido considerados como los más similares a un caso de predicción real.

A continuación, se adjunta el mapa de agitación correspondiente al ejemplo que ha ido siendo considerado (Figura 59):

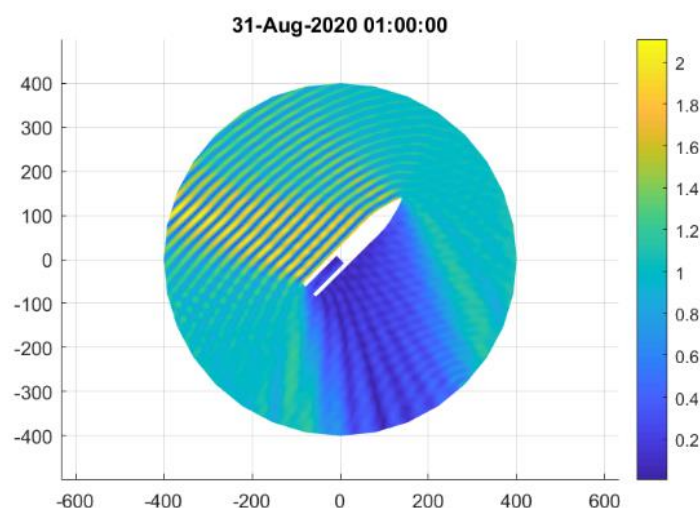


Figura 59. Ejemplo mapa de agitación.

**Paso 5.** El último paso es representar gráficamente la evolución de la altura de ola a lo largo de las 72 horas de predicción en 3 puntos de control situados en la zona inundable del buque. Para ello, el primer paso es obtener las coordenadas de los puntos de control considerando la orientación del buque. Para poder obtener estas coordenadas, se calcula la rotación de los 3 puntos en función de la nueva orientación del buque definida anteriormente con las mismas ecuaciones que se han expuesto anteriormente. Una vez

se obtienen las nuevas coordenadas, se representan gráficamente los 3 puntos en el dominio (Ver Figura 60). Siguiendo el ejemplo:

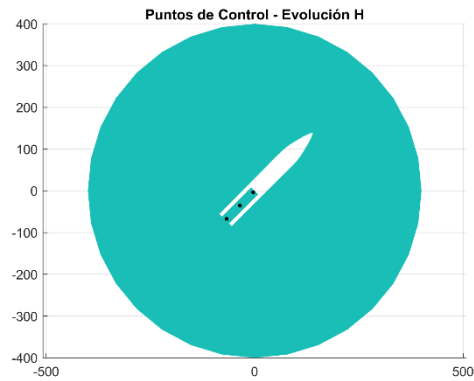


Figura 60. Localización puntos de control en el interior del buque.

Para obtener la evolución de la altura de ola en los 3 puntos definidos en el dominio, lo que se hace es extraer la información del mapa de agitación correspondiente a las coordenadas que se obtienen de las ecuaciones.

Finalmente se representa de forma gráfica la información que se extrae de los mapas de agitación. Además, se grafica también la evolución de los casos seleccionados del catálogo (INPUTS) que representan a los casos descargados de predicción del oleaje en la localización seleccionada. Se representa la evolución de las variables  $H$ ,  $T$  y  $Dir$ . A continuación, se adjuntan los resultados correspondientes al ejemplo planteado durante toda la explicación. En la Figura 61 la evolución de las variables consideradas como inputs y la evolución de la altura de ola en el interior del buque.

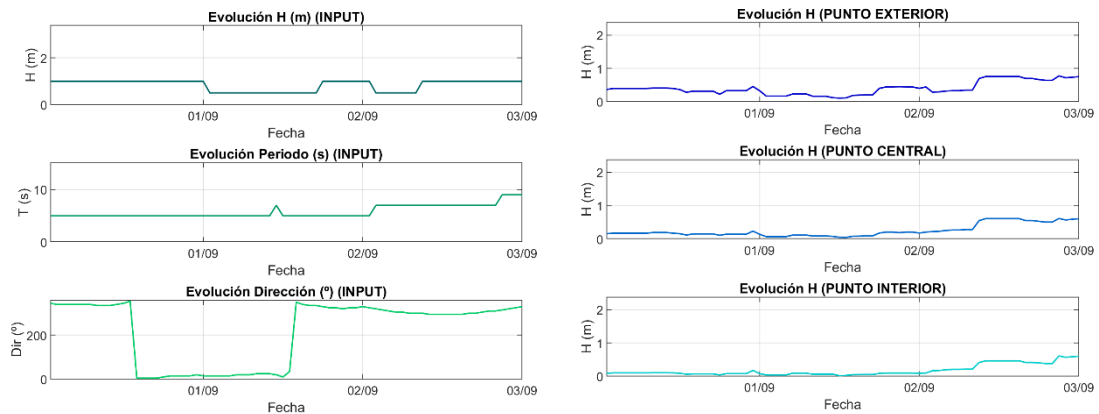


Figura 61. Evoluciones variables consideradas como inputs y evolución altura de ola en los puntos de control.

Para mostrar los resultados de forma conjunta, se han incluido todos en un formato web o HTML. A continuación, se adjuntan varias Figuras (Ver Figuras 62, 63 y 64) donde se muestra su contenido.



Figura 62. Contenido HTML del proyecto.



Figura 63. Contenido HTML del proyecto.

Figura 64. Contenido HTML del proyecto.

Si se hace “click” en el icono de la cámara, se abre una nueva página que contiene una animación con los mapas de agitación para las 72 horas de predicción (Ver Figura 65).

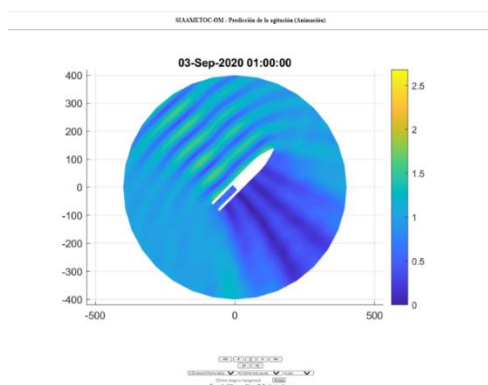


Figura 65. Animación HTML con los mapas de agitación para las 72 horas de predicción.

## 6.1 RESULTADOS FORECAST – EJEMPLO REAL

A continuación, se incluyen los resultados correspondientes a 3 casos para una misma localización, considerando diferentes orientaciones del buque:

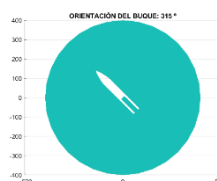
- CASO 1: Incidencia del oleaje directa a la proa del buque.
- CASO 2: Incidencia del oleaje directa al lateral del buque (manga).
- CASO 3: Incidencia del oleaje directa a la popa del buque (directa a la zona inundable).

En primer lugar, se adjunta el mapa con la localización del buque para este ejemplo. En este caso, se ha localizado el buque en el norte de España, concretamente, en frente de las costas de Santander, Cantabria (Ver Figura 66).



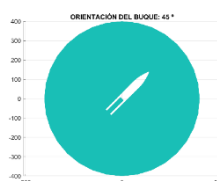
Figura 66. Localización escogida para el ejemplo

Para este ejemplo, se han considerado 3 orientaciones distintas del buque como se ha comentado en la introducción.



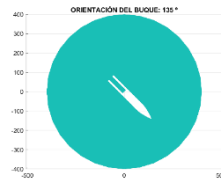
En primer lugar, la primera orientación del buque que ha sido considerada es de 315° respecto al norte. La incidencia del oleaje afecta de forma directa a la proa del buque. Se puede observar la orientación del buque en la Figura 67.

Figura 67. Buque orientado a 315° respecto al Norte.



En segundo lugar, la primera orientación del buque es de 45° respecto al norte. Para esta orientación del buque, la incidencia del oleaje ataca de forma directa al lateral del buque a lo largo de su manga. Se puede observar la orientación en la Figura 68.

Figura 68. Buque orientado a 45° respecto al Norte.



Por último, se ha considerado el caso en el que el oleaje ataque de forma directa al interior del dique inundable. En este último caso la orientación del buque es de  $135^\circ$  respecto al norte, es decir con la popa directamente apuntando a dicha dirección. Se puede consultar la orientación del buque en la Figura 69.

Figura 69. Buque orientado a  $135^\circ$  respecto al Norte.

El siguiente resultado obtenido son los mapas de agitación para las 72 horas de predicción consideradas para las 3 orientaciones. Se adjuntan a continuación algunos ejemplos en la Figura 70.

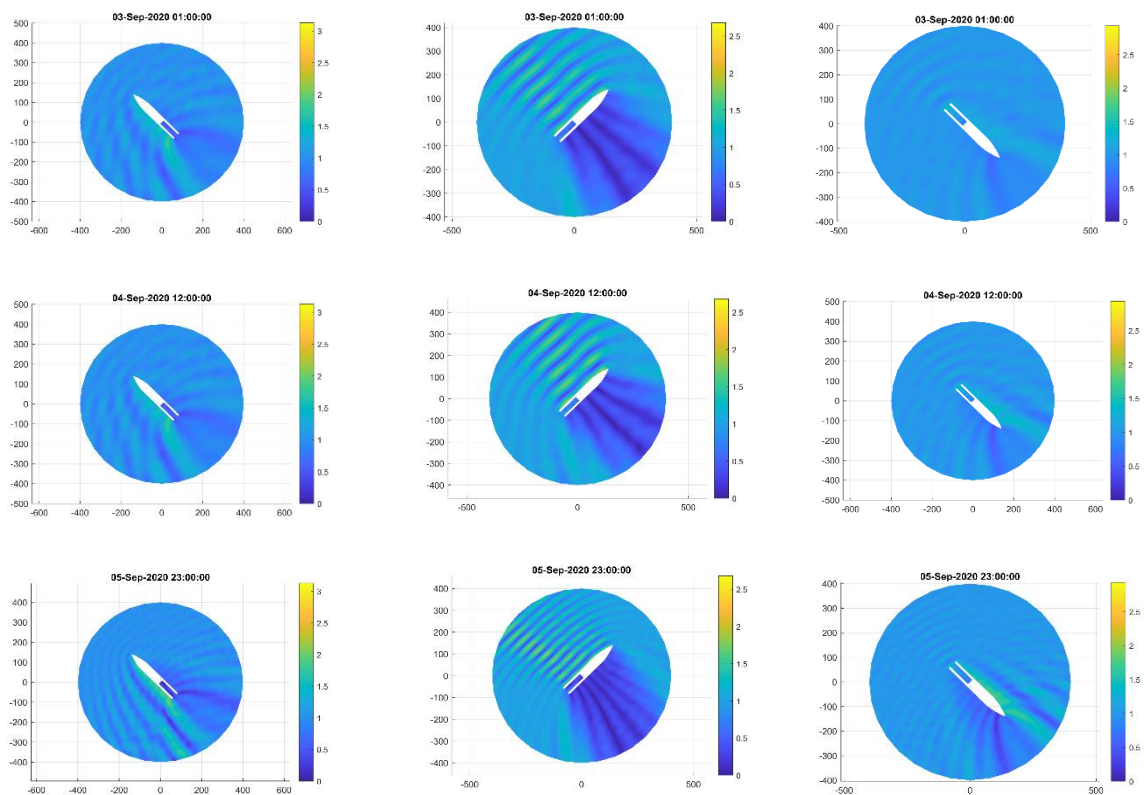


Figura 70. Mapas de agitación obtenidos para el ejemplo real.

En los mapas se puede observar como la incidencia del oleaje es similar para las 3 orientaciones de buque consideradas, mostrando también diferencias evidentes entre los patrones de propagación antes, dentro y después del buque.

El último resultado que se obtiene después de los mapas de agitación es la evolución de  $H_s$ ,  $T_p$  y  $Dir$  del forzamiento operacional invocado

Por otro lado, también se obtiene la evolución de la altura de ola en los 3 puntos de control colocados dentro del dique, un primer punto en la zona más exterior, otro punto de control en el centro y finalmente un último punto de control localizado en la zona más interior. A continuación, se adjuntan los resultados obtenidos (Ver Figuras 71, 72 y 73):

**Orientación → 315º**

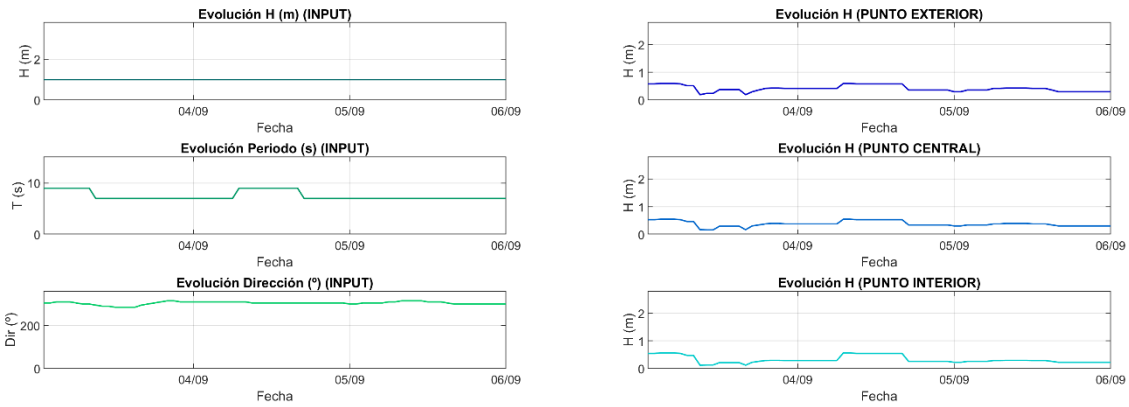


Figura 71. Resultados obtenidos para la orientación de 315º respecto al norte.

**Orientación → 45º**

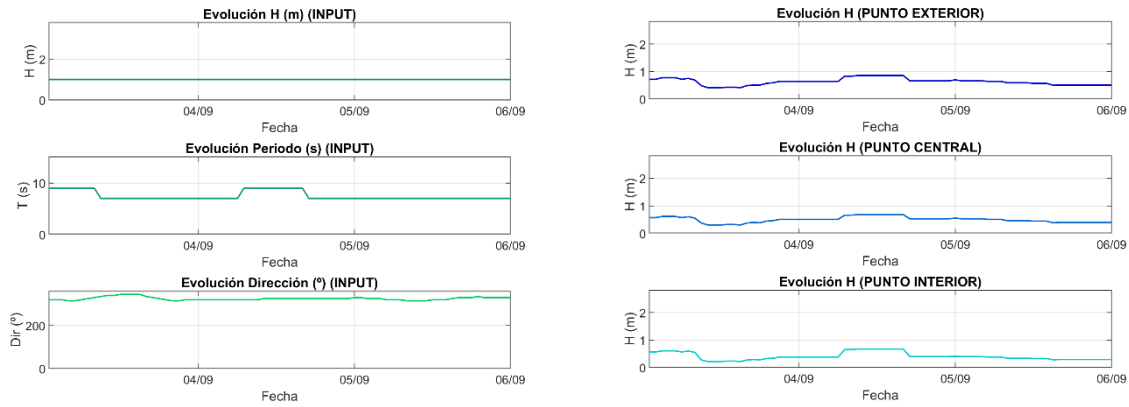


Figura 72. Resultados obtenidos para la orientación de 45º respecto al norte.

**Orientación → 135º**

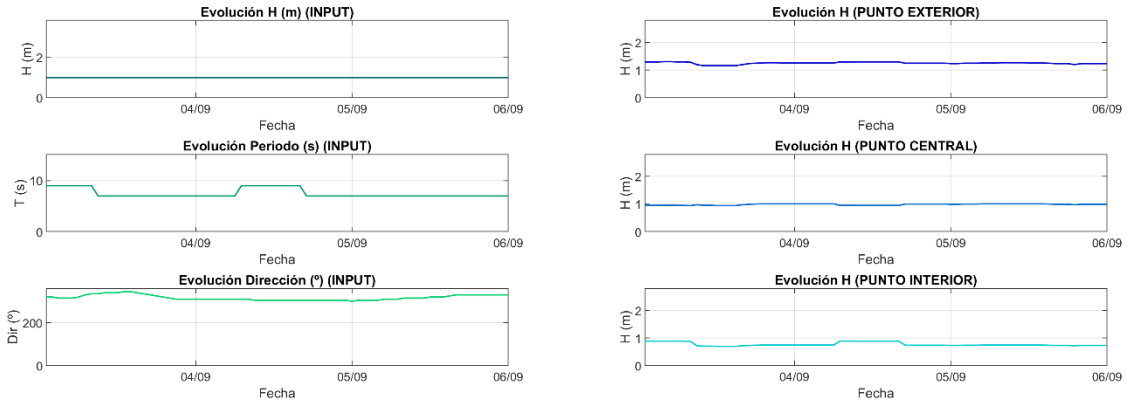


Figura 73. Resultados obtenidos para la orientación de 135º respecto al norte.

Se puede observar la influencia que ejerce la orientación del barco en la agitación interior, en función de cómo incide el oleaje.

Se puede observar que los valores más bajos de altura de ola para el caso en que la orientación del buque es de 315°, los valores intermedios para la orientación de 45° y los valores más elevados para la orientación de 135°. Para comprobar esto numéricamente, se exponen los valores obtenidos para los mismos instantes de tiempo, considerando las 00:00 del segundo y tercer día.

*Tabla 18. Valores de H en los puntos de control para las 3 orientaciones consideradas.*

ORIENTACIÓN	00:00 – Día 2			00:00 – Día 3		
	H P. EXTERIOR	H P. CENTRAL	H P. INTERIOR	H P. EXTERIOR	H P. CENTRAL	H P. INTERIOR
315°	0.4 m	0.4 m	0.3 m	0.3 m	0.3 m	0.2 m
45°	0.8 m	0.5 m	0.4 m	0.8 m	0.5 m	0.4 m
135°	1.2 m	1 m	0.7 m	1.2 m	1 m	0.7 m

Esto viene dado por el nivel de exposición que presenta el dique inundable en función de la orientación del buque, y tal y como se puede observar en la tabla, se pueden dar cambios para un mismo punto de casi un metro de ola con el ejemplo que ha sido realizado, la cual cosa no quiere decir que esta vaya a ser la diferencia máxima, sino que en función del oleaje incidente aún podrían darse situaciones más extremas.

## 7. CONCLUSIONES GENERALES

Una vez mostrados todos los resultados obtenidos durante la realización del trabajo y retomando los objetivos definidos de forma previa, se plantean varias conclusiones generales.

El objetivo principal del trabajo ha sido desarrollar un gestor temprano-automático que proporcionase la información necesaria a la tripulación del buque “Juan Carlos I” para así poder plantear posibles puntos de fondeo y orientaciones alternativas y poder evitar altas penetraciones del oleaje en el interior del buque.

Para poder cumplir con ese objetivo principal, se definieron varios objetivos secundarios. En cuanto a los test de sensibilidad para cuantificar la validez del modelo MSP se puede concluir que, para el presente trabajo, el modelo MSP es suficientemente válido para poder resolver la problemática que se plantea en el presente trabajo. Además, ha sido capaz de resolver y asimilar las grandes diferencias de batimetrías planteadas (considerando el dominio exterior y el calado del buque), y todo, con un coste computacional muy asumible.

Una vez validado el modelo, se diseñó el montaje final, considerando todos los resultados obtenidos de los test previos y se realizó un catálogo pre-ejecutado considerando un total de 1258 estados de mar.

Finalmente, ha sido posible realizar el montaje del sistema de predicción (forecast) para la cuantificación temprana de la agitación en el interior del buque “Juan Carlos I”. Además, se permite al usuario del sistema escoger tanto la localización, siempre y cuando esté dentro del dominio que se plantea como imponer la orientación del buque.

En resumen, el presente trabajo ha cumplido con los objetivos planteados, y además, se plantean varias líneas de trabajo futuro para poder acabar de validar el montaje considerando aspectos que en este caso se han tenido que pasar por alto.

## 8. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

La principal tarea que queda pendiente en el presente trabajo es realizar la misma metodología, pero considerando oleaje espectral. Debido al tiempo, no ha sido posible tenerlo en cuenta para el actual trabajo, pero es un paso que no se debe saltar de cara a una versión más robusta.

Otros aspectos que se deben tener en cuenta para ser estudiados de forma más exhausta son:

- Que control en los resultados puede llegar a ejercer un cambio en la batimetría del dominio exterior. Para ello, se deberían realizar varias pruebas con diferentes calados y realizar un análisis de sensibilidad.
- Mejorar aspectos varios como por ejemplo realizar un catálogo pre-ejecutado con una resolución superior o bien aumentar el dominio a considerar para el montaje del sistema de predicción (forecast).

## 9. BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA

*Francisco Javier Álvarez Laita, María Luisa Medina Arnáiz – Buques Anfibios. Las realizaciones de Navantia. Agosto 2011.*

*Liu, Philip & Losada, I.J.. (2002). Wave propagation modeling in coastal engineering. Journal of Hydraulic Research. 40. 229-240.*

*Mansard, E.P.D., Funke, E.R., 1980. The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method. Coastal Engineering 154–172.*

<https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/iniciohome/preLang-es/>

<http://archivo.ihcantabria.com/index.php/item/680-msp>

<https://ihfoam.ihcantabria.com/>

<https://ih2vof.ihcantabria.com/>

<http://www.puertos.es/es-es/>



## ANEXOS:

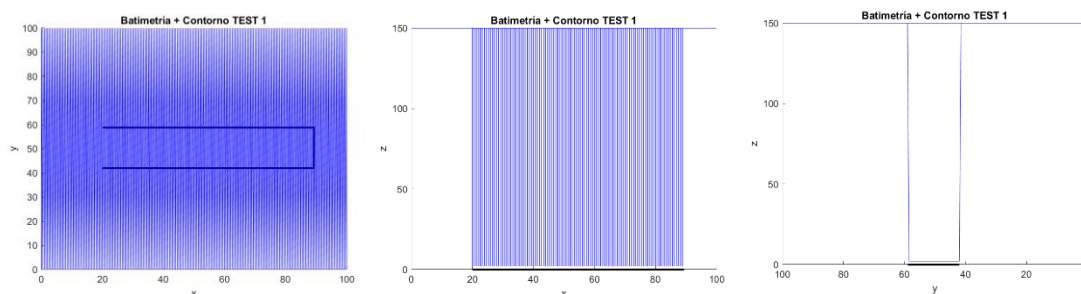
### 1. ANEXO I: TESTS PREVIOS MODELO MSP

La metodología general para todos los test consiste en la siguiente: En primer lugar, se genera una batimetría y un contorno mediante Matlab. Estos serán esenciales para llevar a cabo la ejecución del modelo. Una vez se obtienen, se introducen en el modelo numérico MSP. Una vez se introduce el contorno, se debe dar el valor a los coeficientes de reflexión para cada uno de los nodos del contorno. Para las primeras aproximaciones se utilizarán coeficientes de reflexión con valor de 1, es decir, totalmente reflejantes. Una vez dados, se guarda el contorno con los coeficientes de reflexión asociados. El siguiente paso, es abrir el contorno guardado anteriormente, y darle un valor al periodo de diseño para realizar el mallado del dominio, siendo en este caso, una malla en elementos finitos. Una vez realizado el mallado, se introduce como input un fichero Excel con los datos de oleaje de partida para cada uno de los test que vayan a realizarse. Finalmente, se ejecutan todos los casos considerados y se pueden observar los resultados que proporciona el modelo, para poder realizar otra prueba ajustando aquellos aspectos que quieran considerarse hasta conseguir el mejor montaje posible.

#### 1.1 TEST 1 MSP:

##### 1.1.1. Diseño:

El primer test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso únicamente incluye el contorno del buque, considerando las medidas de la introducción. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.



*Figura 1. Batimetría y contorno - Test I.*

##### 1.1.2. Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST I*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TESTI\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

*Tabla 1. Ubicación caso - Test I.*

Ubicación archivos TEST I	
CARPETA 1: TEST I	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TESTI_MSP	Resultados MSP

### 1.1.3.Montaje:

Para el test número 1 se han considerado los coeficientes de reflexión como 1 para todos los contornos del buque. A continuación, se adjunta una figura representado los coeficientes.

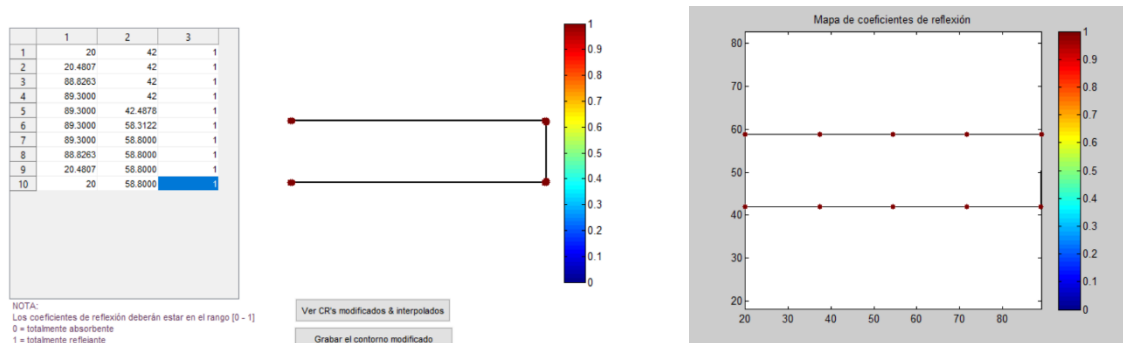


Figura 2. Coeficientes de reflexión- Test I.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 2 segundos.

Tabla 2. Datos técnicos - Test I.

Datos técnicos TEST I	
Mallado	T = 2 s
Tiempo computacional mallado	3 s
Tiempo computacional por estado de mar	0.8 s

### 1.1.4.Casos:

Para el test I los estados de mar ejecutados han sido los siguientes:

Tabla 3. Casos considerados - Test I.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_A
2011	7	1	12	0	0	2,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_B
2011	7	1	13	0	0	3,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_C
2011	7	1	14	0	0	1,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_D
2011	7	1	15	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_E
2011	7	1	16	0	0	3,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_F
2011	7	1	17	0	0	1,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_G
2011	7	1	18	0	0	2,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_H
2011	7	1	19	0	0	3,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_I
2011	7	1	20	0	0	1,000	10,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_J
2011	7	1	21	0	0	1,000	12,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_K
2011	7	1	22	0	0	1,000	15,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_L
2011	7	1	23	0	0	1,000	10,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_M
2011	7	2	0	0	0	1,000	12,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_N
2011	7	2	1	0	0	1,000	15,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_O

Los casos se pueden dividir en varios grupos. En primer lugar, se han representado 3 familias direccionales: en primer lugar, considerando una dirección totalmente perpendicular al buque, y en segundo lugar, dos familias variando  $\pm 10^\circ$  de la incidencia perpendicular. A partir de aquí, se han analizado varios casos considerando distintas alturas de ola y distintos periodos.

### 1.1.5. Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para los 3 primeros casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

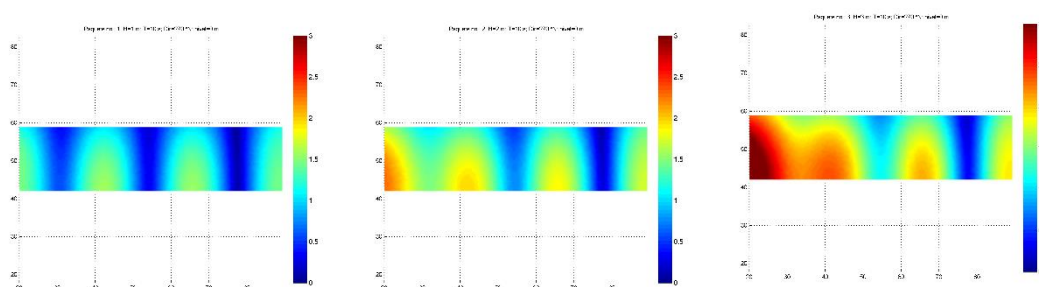


Figura 3. Mapas de agitación - Test I.

### 1.1.6. Diseño Nuevo Test:

Una vez observados los resultados del test I, se busca crear un nuevo contorno y batimetría donde el dominio espacial sea más amplio y no considerando únicamente el interior del buque.

## 1.2 TEST 2 MSP:

### 1.2.1 Diseño:

El segundo test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

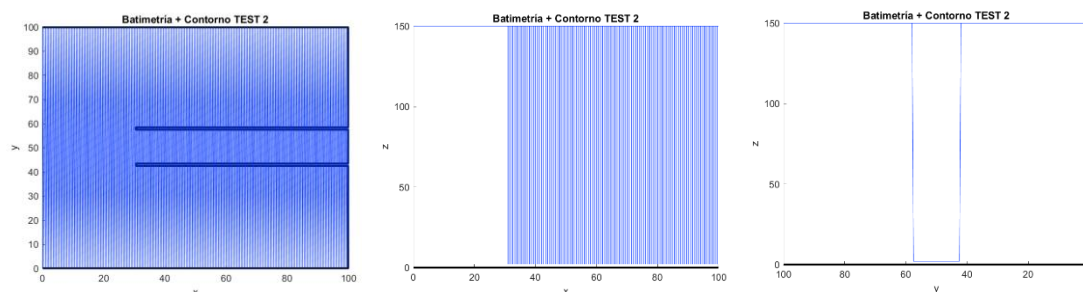


Figura 4. Batimetría y contorno - Test II.

### 1.2.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST II*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_II\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 4. Ubicación caso - Test II.

Ubicación archivos TEST II	
CARPETA 1: TEST II	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_II_MSP	Resultados MSP

### 1.2.3 Montaje:

Para el test número 2 se han considerado los coeficientes de reflexión como 1 para todos los contornos del buque y 0 para los contornos de mar abierto. A continuación, se adjunta una figura representando los coeficientes.

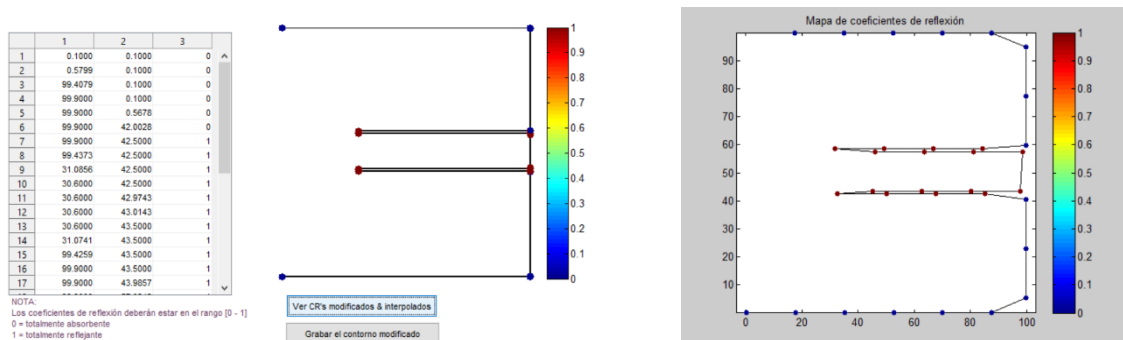


Figura 5. Coeficientes de reflexión- Test II.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos.

Tabla 5. Datos técnicos - Test II.

Datos técnicos TEST II	
Mallado	T = 5 s
Tiempo computacional mallado	3 s
Tiempo computacional por estado de mar	0.5 s

### 1.2.4 Casos:

Para el test II los estados de mar ejecutados han sido los mismos considerados en el test II:

Tabla 6. Casos considerados - Test II.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_A
2011	7	1	12	0	0	2,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_B
2011	7	1	13	0	0	3,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_C
2011	7	1	14	0	0	1,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_D
2011	7	1	15	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_E
2011	7	1	16	0	0	3,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_F
2011	7	1	17	0	0	1,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_G
2011	7	1	18	0	0	2,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_H
2011	7	1	19	0	0	3,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_I
2011	7	1	20	0	0	1,000	10,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_J
2011	7	1	21	0	0	1,000	12,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_K
2011	7	1	22	0	0	1,000	15,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_L
2011	7	1	23	0	0	1,000	10,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_M
2011	7	2	0	0	0	1,000	12,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_N
2011	7	2	1	0	0	1,000	15,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_O

Los casos se pueden dividir en varios grupos. En primer lugar, se han representado 3 familias direccionales: en primer lugar, considerando una dirección totalmente perpendicular al buque, y en segundo lugar, dos familias variando  $\pm 10^\circ$  de la incidencia perpendicular. A partir de aquí, se han analizado varios casos considerando distintas alturas de ola y distintos periodos.

### 1.2.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para los 3 primeros casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

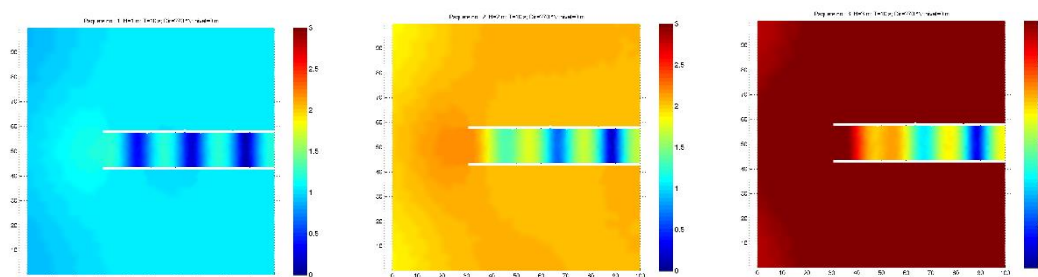


Figura 6. Mapas de agitación - Test II.

### 1.2.6 Diseño Nuevo Test:

Una vez observados los resultados del test II, se va a estudiar disminuir la batimetría general para observar diferencias respecto al test II.

## 1.3 TEST 3 MSP:

### 1.3.1 Diseño:

El tercer test se ha realizado con una batimetría constante a 80 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

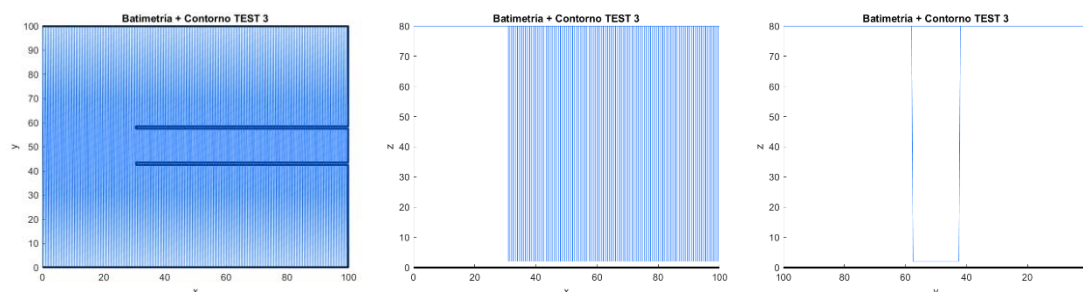


Figura 7. Batimetría y contorno - Test III.

### 1.3.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: **TEST III**. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: **TEST\_III\_MSP** donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 7. Ubicación caso - Test III.

Ubicación archivos TEST III	
CARPETA 1: TEST III	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_III_MSP	Resultados MSP

### 1.3.3 Montaje:

Para el test número 3 se han considerado los coeficientes de reflexión como 1 para todos los contornos del buque y 0 para los contornos de mar abierto. A continuación, se adjunta una figura representando los coeficientes.

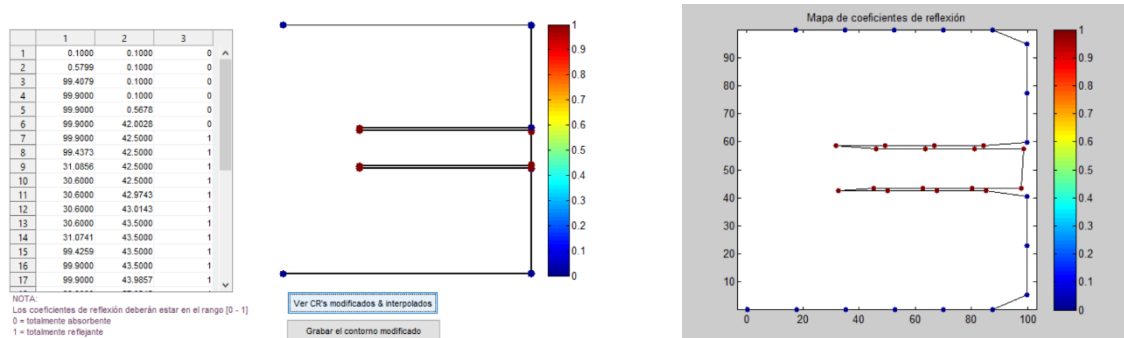


Figura 8. Coeficientes de reflexión- Test III.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos.

Tabla 8. Datos técnicos - Test III.

Datos técnicos TEST III	
Mallado	T = 5 s
Tiempo computacional mallado	3 s
Tiempo computacional por estado de mar	0.5 s

### 1.3.4 Casos:

Para el test III los estados de mar ejecutados han sido los mismos considerados en el test I y en el test II:

Tabla 9. Casos considerados - Test III.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_A
2011	7	1	12	0	0	2,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_B
2011	7	1	13	0	0	3,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_C
2011	7	1	14	0	0	1,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_D
2011	7	1	15	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_E
2011	7	1	16	0	0	3,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_F
2011	7	1	17	0	0	1,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_G
2011	7	1	18	0	0	2,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_H
2011	7	1	19	0	0	3,000	15,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_I
2011	7	1	20	0	0	1,000	10,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_J
2011	7	1	21	0	0	1,000	12,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_K
2011	7	1	22	0	0	1,000	15,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_L
2011	7	1	23	0	0	1,000	10,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_M
2011	7	2	0	0	0	1,000	12,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_N
2011	7	2	1	0	0	1,000	15,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_O

Los casos se pueden dividir en varios grupos. En primer lugar, se han representado 3 familias direccionales: en primer lugar, considerando una dirección totalmente perpendicular al buque, y en segundo lugar, dos familias variando  $\pm 10^\circ$  de la incidencia perpendicular. A partir de aquí, se han analizado varios casos considerando distintas alturas de ola y distintos periodos.

### 1.3.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para los 3 primeros casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

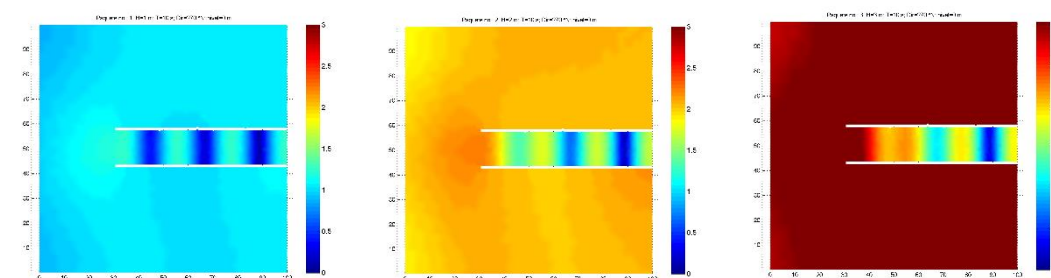


Figura 9. Mapas de agitación - Test III.

### 1.3.6 Diseño Nuevo Test:

Una vez observados los resultados del test III, se ha optado por realizar un diseño más detallado del buque.

## 1.4 TEST 4 MSP:

### 1.4.1 Diseño:

El tercer test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye únicamente el contorno del buque. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

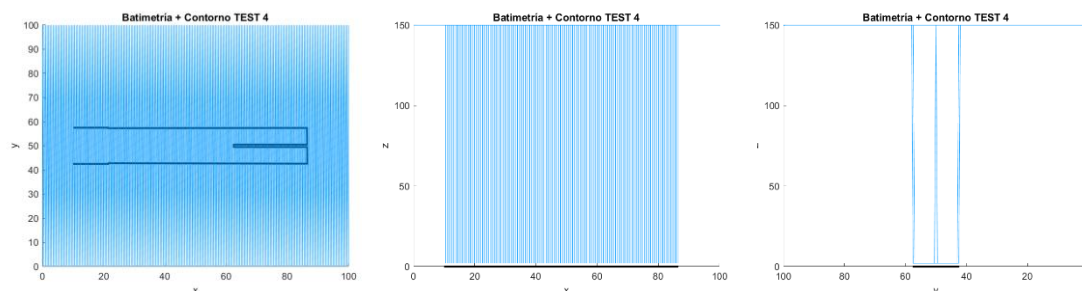


Figura 10. Batimetría y contorno - Test IV.

### 1.4.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: **TEST IV**. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: **TEST\_IV\_MSP** donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 10. Ubicación caso - Test IV.

Ubicación archivos TEST IV	
CARPETA 1: TEST IV	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_IV_MSP	Resultados MSP

### 1.4.3 Diseño Nuevo Test:

Considerando los test realizados previamente, se ha diseñado también un nuevo contorno con más detalle considerando el dominio espacial del test II y III, es decir, no considerar únicamente el contorno del buque. Se expone en el caso 5.

## 1.5 TEST 5 MSP:

### 1.5.1 Diseño:

El tercer test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

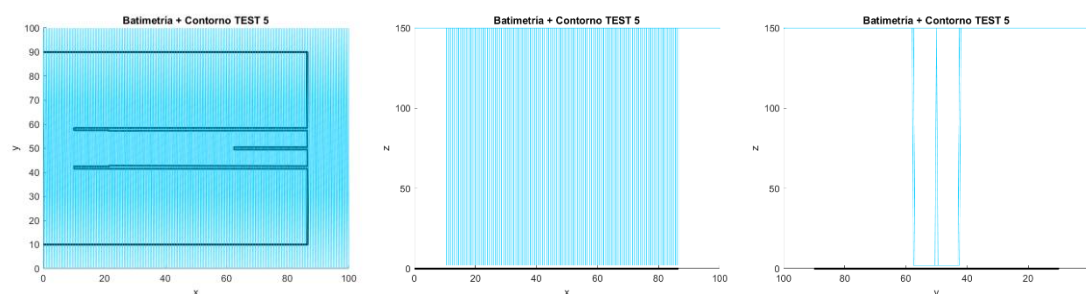


Figura 11. Batimetría y contorno - Test V.

### 1.5.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST V*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_V\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 11. Ubicación caso - Test V.

Ubicación archivos TEST V	
CARPETA 1: TEST V	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_V_MSP	Resultados MSP

### 1.5.3 Diseño Nuevo Test:

Una vez realizados los dos últimos test se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones para el diseño del test 6:

- El detalle del buque se deja para más adelante. De momento se seguirá trabajando con el diseño del buque expuesto en los Test I, II y III.
- El dominio espacial utilizado hasta el momento es demasiado reducido, puesto se debe considerar que antes del objeto de estudio haya 1-2L. Por tanto, de cara al test 6 se amplía el dominio espacial tanto en x como en y a 500 m.
- Los casos de estudio, se han reformulado. Se siguen considerando 3 direcciones incidentes: totalmente perpendicular y con variación de  $\pm 10^\circ$  respecto a la dirección perpendicular ( $270^\circ$ ). Por otro lado, todos los casos se estudiarán para una H de 1 m y el único aspecto que variará entre ellos serán los periodos.



1.6 TEST 6 MSP:

1.6.1 Diseño:

El sexto test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque, en este caso el dominio espacial es mucho mayor en comparación a los casos realizados anteriormente. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

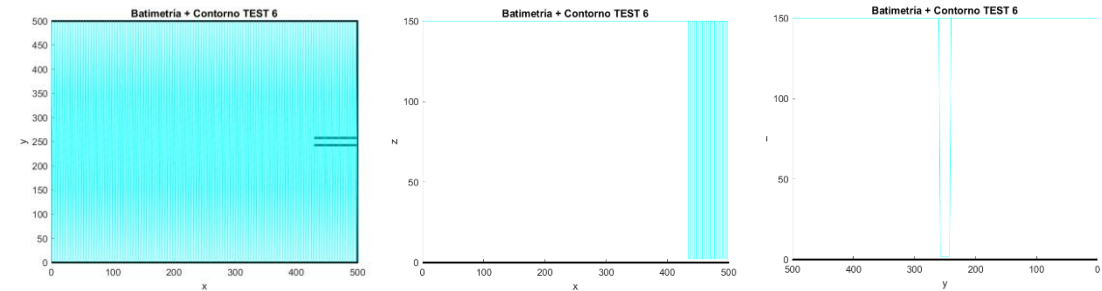


Figura 12. Batimetría y contorno - Test VI.

1.6.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST VI*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_VI\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 12. Ubicación caso - Test VI.

Ubicación archivos TEST VI	
CARPETA 1: TEST VI	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_VI_MSP	Resultados MSP

1.6.3 Montaje:

Los coeficientes de reflexión empleados en este caso han sido considerados como 0 para los contornos de mar abierto y 1 para todos los contornos del buque. Se pueden observar a continuación en la siguiente figura:

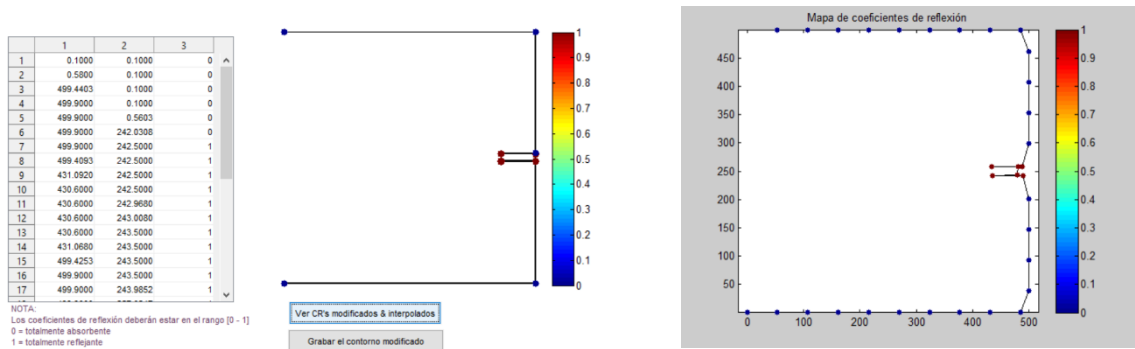


Figura 13. Coeficientes de reflexión- Test VI.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos.

Tabla 13. Datos técnicos - Test VI.

Datos técnicos TEST VI	
Mallado	T = 5 s
Tiempo computacional mallado	10s
Tiempo computacional por estado de mar	5s

#### 1.6.4 Casos:

Para el test VI los estados de mar ejecutados son los siguientes:

Tabla 14. Casos considerados - Test VI.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	8,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_2
2011	7	1	13	0	0	1,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_3
2011	7	1	11	0	0	1,000	14,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_A
2011	7	1	12	0	0	1,000	16,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_B
2011	7	1	13	0	0	1,000	18,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_C
2011	7	1	14	0	0	1,000	8,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_D
2011	7	1	15	0	0	1,000	12,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_E
2011	7	1	16	0	0	1,000	16,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_F
2011	7	1	17	0	0	1,000	18,00	280,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_G
2011	7	1	18	0	0	1,000	8,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_H
2011	7	1	19	0	0	1,000	12,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_I
2011	7	1	20	0	0	1,000	16,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_J
2011	7	1	21	0	0	1,000	18,00	260,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_K

Los casos se pueden dividir en varios grupos. En primer lugar, se han representado 3 familias direccionales: en primer lugar, considerando una dirección totalmente perpendicular al buque, y en segundo lugar, dos familias variando  $\pm 10^\circ$  de la incidencia perpendicular. A partir de aquí, se han analizado varios casos considerando 1m de altura de ola y distintos periodos.

#### 1.6.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para todos los casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

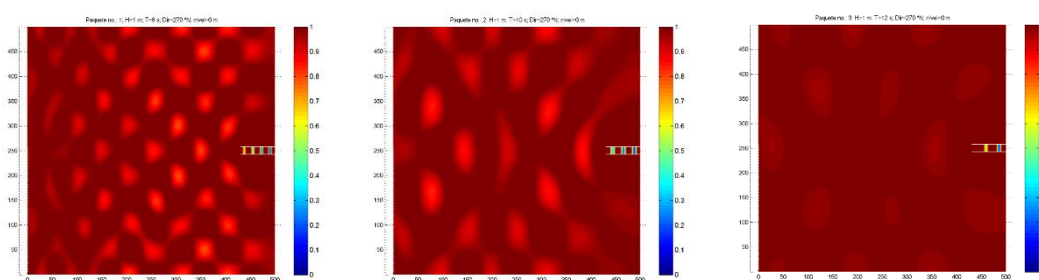


Figura 14. Mapas de agitación - Test VI.

#### 1.6.6 Diseño Nuevo Test:

En el siguiente test se realizará un cambio en el dominio espacial y únicamente se ejecutaran 2 casos control para así poder validar los resultados que se obtengan posteriormente con el modelo IH2VOF.

1.7 TEST 7 MSP:

1.7.1 Diseño:

El séptimo test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque, aunque visualmente sea prácticamente igual al caso VI se ha disminuido el dominio espacial 100 m en x y en y. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

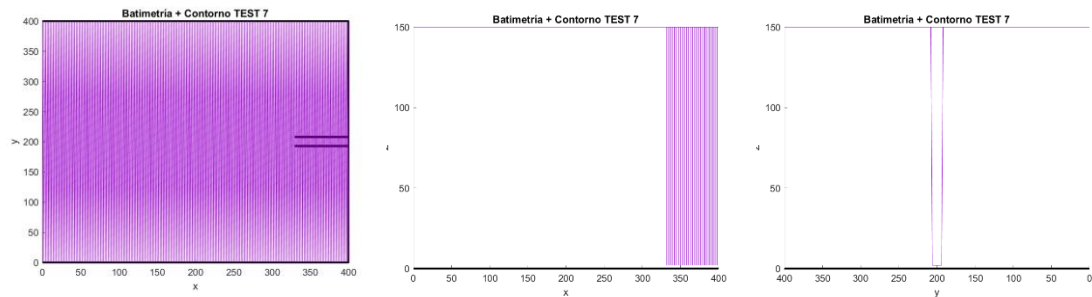


Figura 15. Batimetría y contorno - Test VII.

1.7.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST VI*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_VII\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 15. Ubicación caso - Test VII.

Ubicación archivos TEST VII	
CARPETA 1: TEST VII	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_VII_MSP	Resultados MSP

1.7.3 Montaje:

Los coeficientes de reflexión empleados en este caso han sido considerados como 0 para los contornos de mar abierto y 1 para todos los contornos del buque. Se pueden observar a continuación en la siguiente figura:

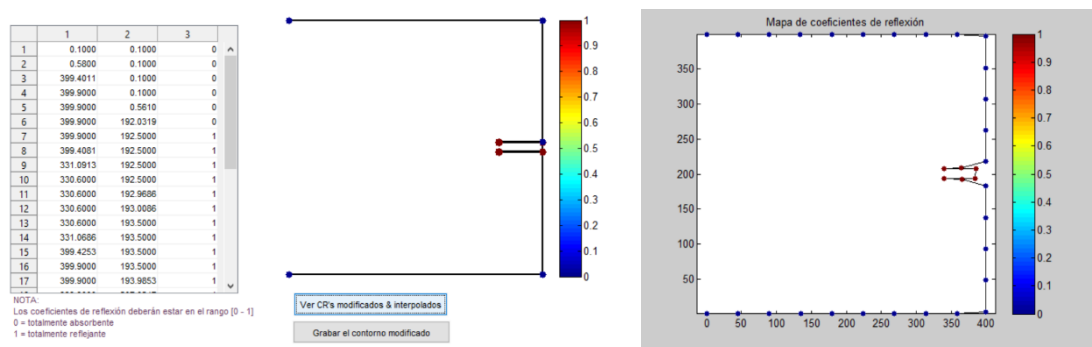


Figura 16. Coeficientes de reflexión- Test VII.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos.

Tabla 16. Datos técnicos - Test VII.

Datos técnicos TEST VII	
Mallado	T = 5 s

Tiempo computacional mallado	4 s
Tiempo computacional por estado de mar	3 s

#### 1.7.4 Casos:

Para el test VI los estados de mar ejecutados son los siguientes:

Tabla 17. Casos considerados - Test VII.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	NaN	NaN	0,00	0,00	T1_2

En este caso únicamente se han ejecutado 2 casos. En primer lugar, un oleaje de 1m de altura de ola y 10 segundos de periodo y por otro lado 2m de altura de ola y 12 segundos de periodo. Se han ejecutado únicamente estos dos casos puesto que son los que se considerarán en el modelo IH2VOF.

#### 1.7.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para todos los casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

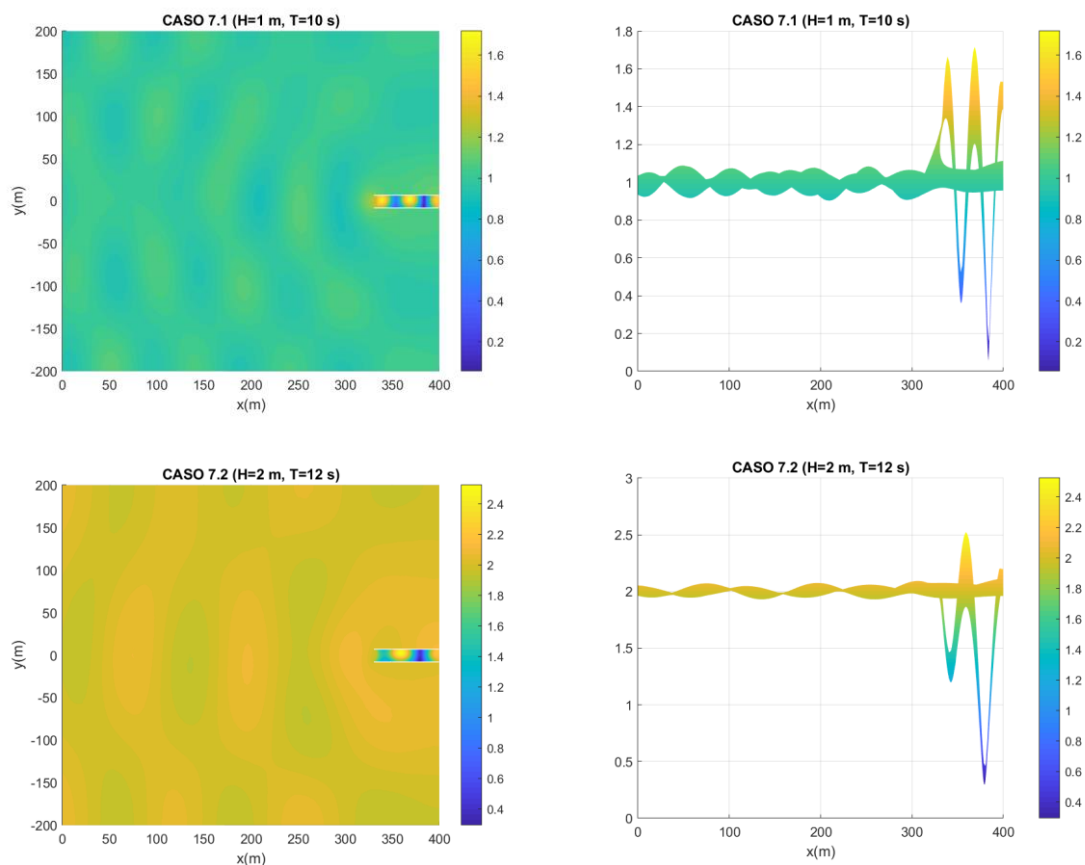


Figura 17. Mapas de agitación - Test VII.

A continuación, se muestra también la evolución de la altura de ola a lo largo del dominio considerado, siendo los resultados correspondientes al corte en  $y = 200$ , es decir, justamente en la mitad del dominio.

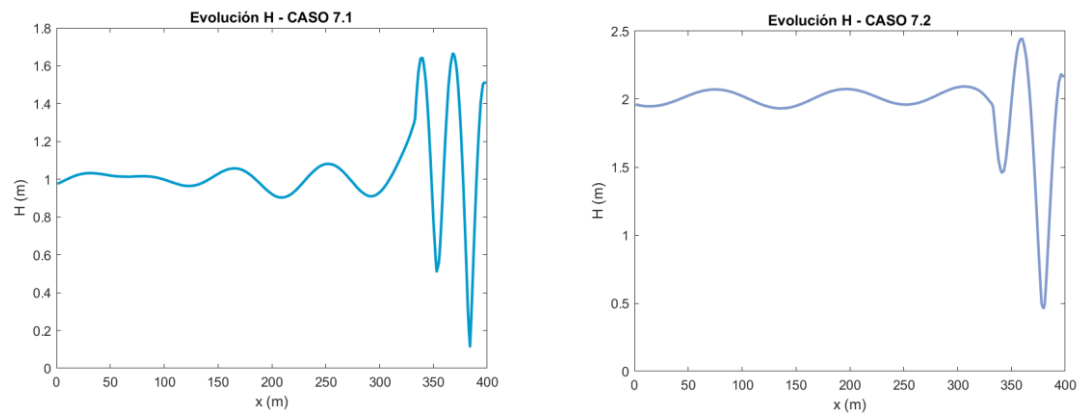


Figura 18. Evolución  $H$  (m) - Test VII.

### 1.7.6 Diseño Nuevo Test:

El próximo test a ejecutar corresponde a exactamente el mismo montaje que en el caso del test VII pero en este caso se ejecutará con oleaje espectral y no monocromático como se ha realizado hasta el momento.

## 1.8 TEST 8 MSP:

### 1.8.1 Diseño:

El octavo test se ha realizado con una batimetría constante a 150 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque. De la misma forma que en el caso VI se ha disminuido el dominio espacial 100 m en  $x$  y en  $y$ . A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

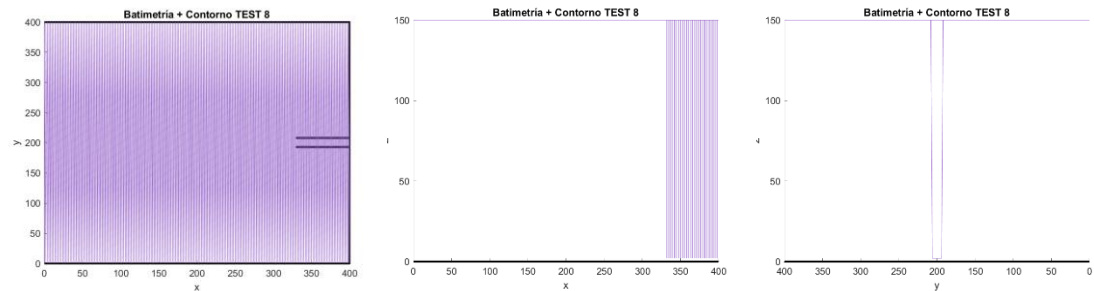


Figura 19. Batimetría y contorno - Test VIII.

### 1.8.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST VI*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_VIII\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 18. Ubicación caso - Test VIII.

Ubicación archivos TEST VIII	
CARPETA 1: TEST VIII	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2

CARPETA 2: TEST_VIII_MSP	Resultados MSP
--------------------------	----------------

### 1.8.3 Montaje:

Los coeficientes de reflexión empleados en este caso han sido considerados como 0 para los contornos de mar abierto y 1 para todos los contornos del buque. Se pueden observar a continuación en la siguiente figura:

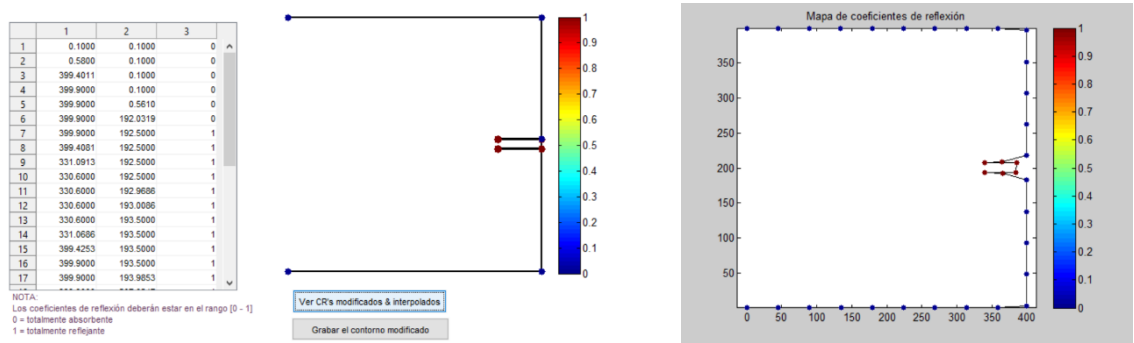


Figura 20. Coeficientes de reflexión- Test XIII.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 4 segundos y el caso se ha ejecutado considerado oleaje espectral.

Tabla 19. Datos técnicos - Test VIII.

Datos técnicos TEST VIII	
Mallado	T = 4 s
Tiempo computacional mallado	7 s
Tiempo computacional por estado de mar	24 min

### 1.8.4 Casos:

Para el test VI los estados de mar ejecutados son los siguientes:

Tabla 20. Casos considerados - Test VIII.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_2

En este caso únicamente se han ejecutado 2 casos. En primer lugar, un oleaje de 1m de altura de ola y 10 segundos de periodo y por otro lado 2m de altura de ola y 12 segundos de periodo. En este caso se han considerado no como oleaje monocromático sino como oleaje espectral.

### 1.8.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para todos los casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

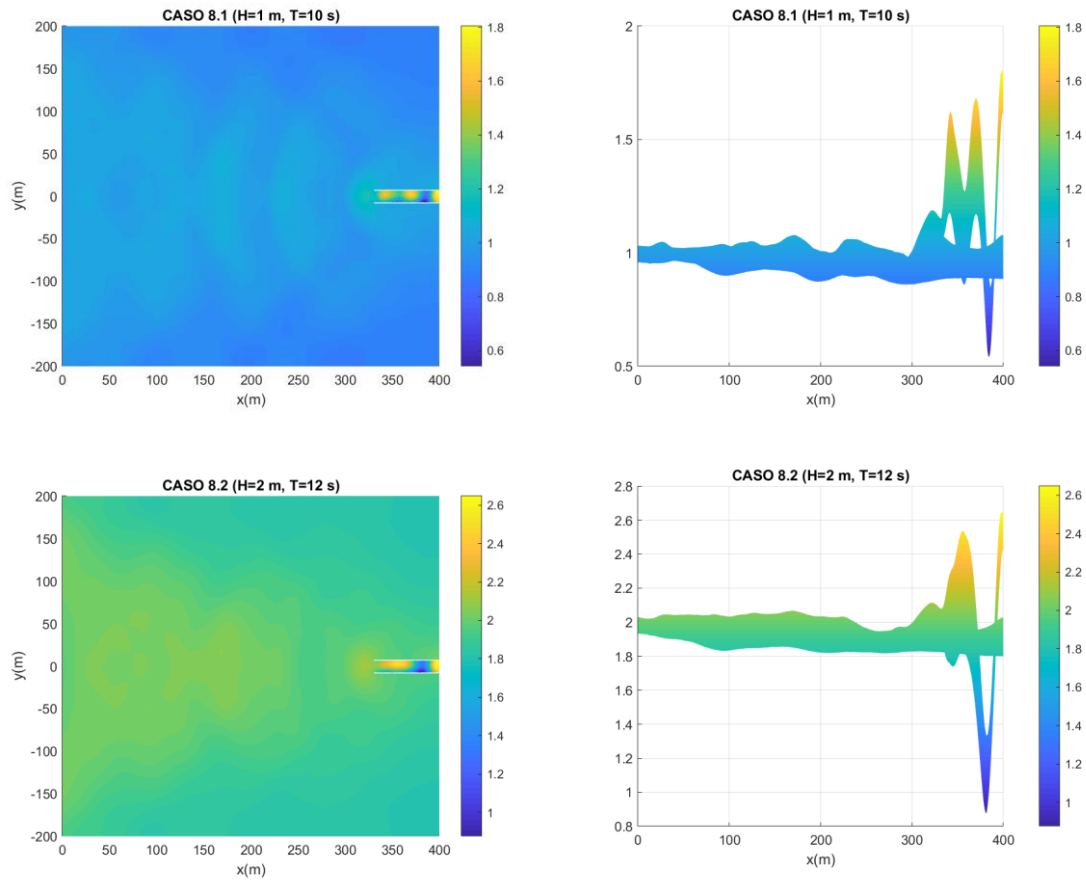


Figura 21. Mapas de agitación - Test VIII.

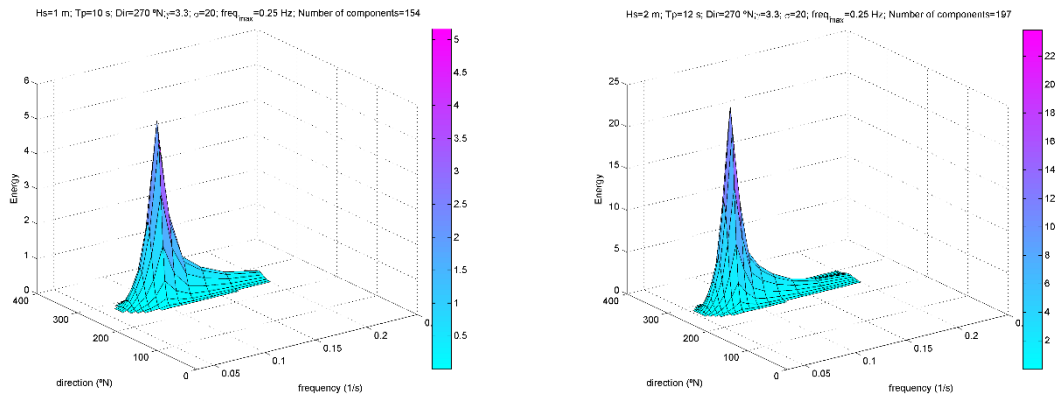


Figura 22. Espectros considerados - Test VIII.

A continuación, se muestra también la evolución de la altura de ola a lo largo del dominio considerado, siendo los resultados correspondientes al corte en  $y = 200$ , es decir, justamente en la mitad del dominio.

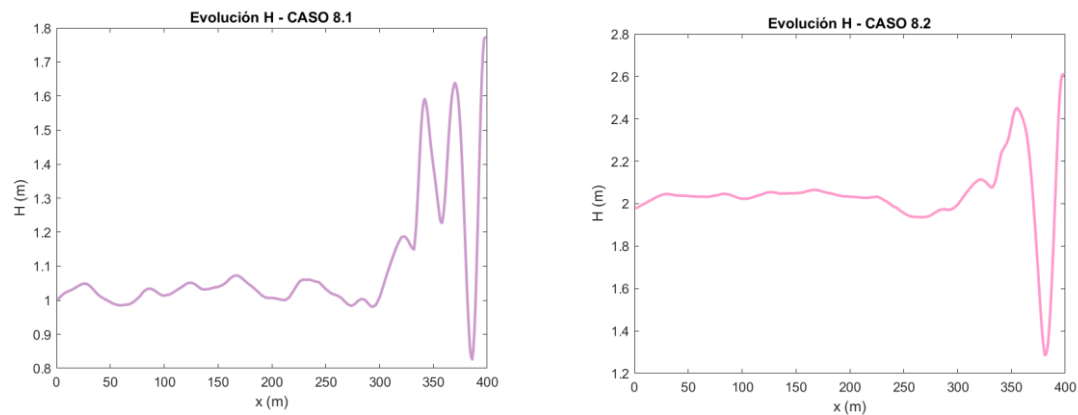


Figura 23. Evolución H (m) - Test VIII.

### 1.8.6 Diseño Nuevo Test:

Dadas las limitaciones con el modelo IH2VOF, el siguiente caso a representar en el MSP se basa en replicar el último test realizado, cambiando el calado del dominio exterior al buque a 16m, que será el que se utilizará en el modelo IH2VOF para así reducir el tiempo computacional.

### 1.9 TEST 9 MSP:

#### 1.9.1 Diseño:

El noveno test se ha realizado con una batimetría constante a 16 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso incluye el contorno del buque además de una ampliación del dominio en la parte frontal y a los laterales del buque. A continuación, se adjuntan varias figuras para una mejor comprensión de la batimetría y el contorno.

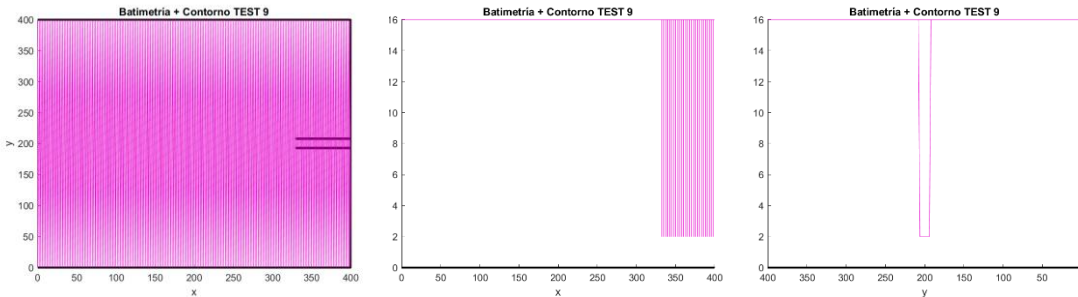


Figura 24. Batimetría y contorno - Test IX.

#### 1.9.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: *TEST IX*. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: *TEST\_IX\_MSP* donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 21. Ubicación caso - Test IX.

Ubicación archivos TEST IX	
CARPETA 1: TEST IX	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2



### 1.9.3 Montaje:

Los coeficientes de reflexión empleados en este caso han sido considerados como 0 para los contornos de mar abierto y 1 para todos los contornos del buque. Se pueden observar a continuación en la siguiente figura:

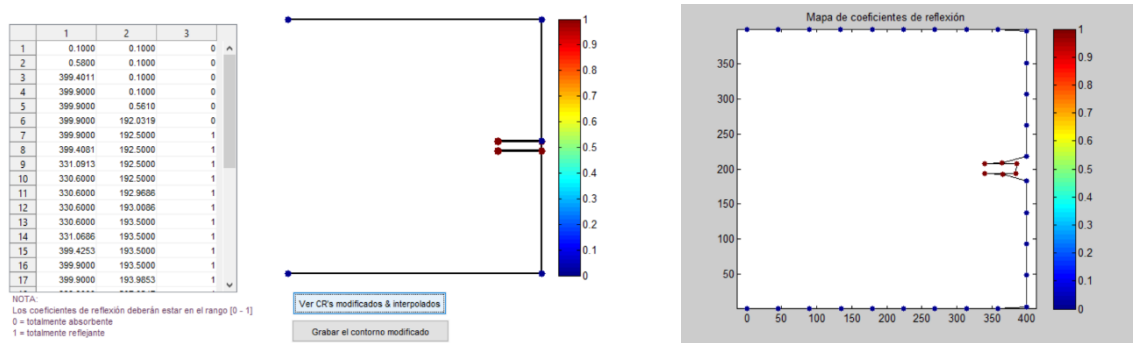


Figura 24. Coeficientes de reflexión- Test IX.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos y el caso se ha ejecutado considerado oleaje espectral.

Tabla 22. Datos técnicos - Test IX.

Datos técnicos TEST IX	
Mallado	T = 5 s
Tiempo computacional mallado	7 s
Tiempo computacional por estado de mar	3 s

### 1.9.4 Casos:

Para el test IX los estados de mar ejecutados son los siguientes:

Tabla 23. Casos considerados - Test IX.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_2

En este caso únicamente se han ejecutado 2 casos. En primer lugar, un oleaje de 1m de altura de ola y 10 segundos de periodo y por otro lado 2m de altura de ola y 12 segundos de periodo. En este caso se han considerado no como oleaje monocromático sino como oleaje espectral.

### 1.9.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para todos los casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

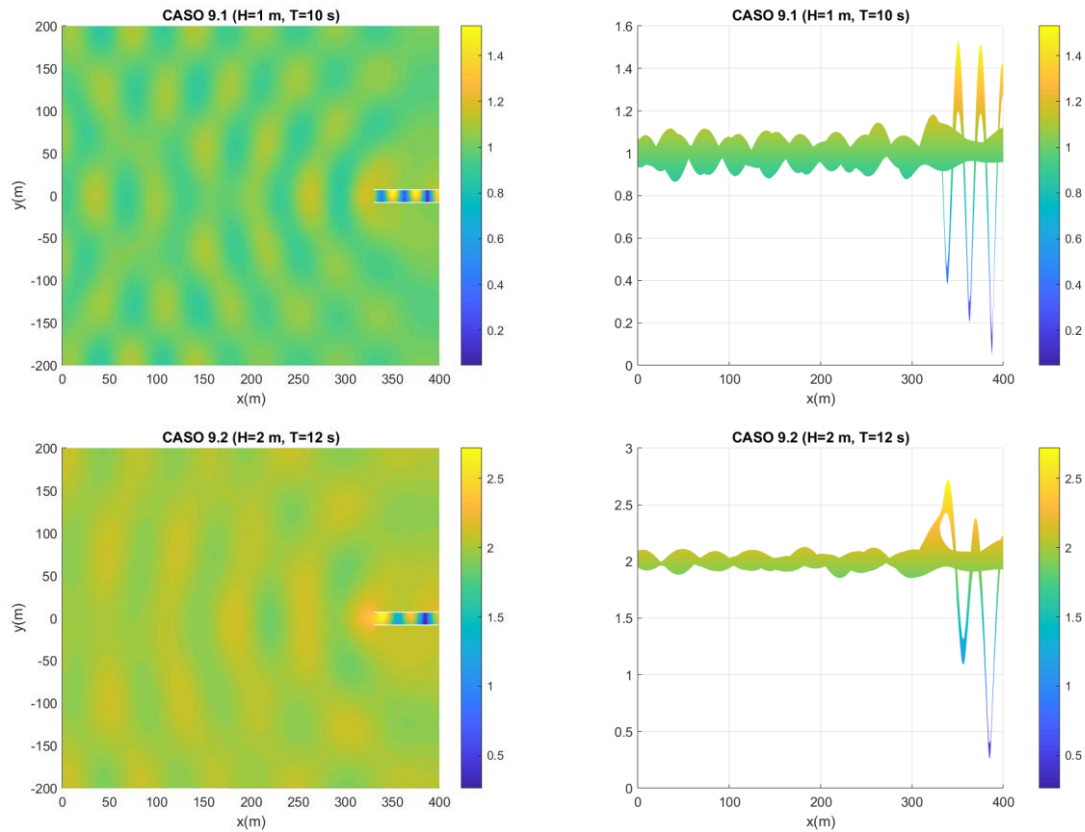


Figura 25. Mapas de agitación - Test IX.

A continuación, se muestra también la evolución de la altura de ola a lo largo del dominio considerado, siendo los resultados correspondientes al corte en  $y = 200$ , es decir, justamente en la mitad del dominio.

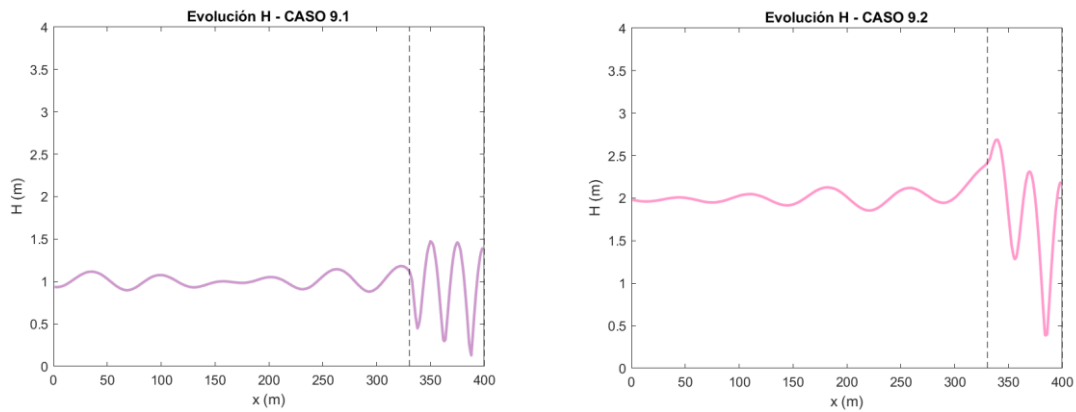


Figura 26. Evolución  $H$  (m) - Test IX.

### 1.9.6 Diseño Nuevo Test:

El siguiente test realizado ha sido creado con el objetivo de simular el mismo caso, con un calado de 16 metros en la zona exterior del buque y un calado constante de 2 metros en el interior del buque, pero en este caso en forma de canal para así comparar posteriormente con los resultados que se obtienen del modelo IH2VOF.

## 1.10 TEST 10 MSP:

### 1.10.1 Diseño:

El noveno test se ha realizado con una batimetría constante a 16 m a excepción de la zona del buque donde el calado pasa a ser de 2 m. El contorno en este caso se ha realizado simulando un canal igual al ancho del buque donde el único cambio se da en el calado.

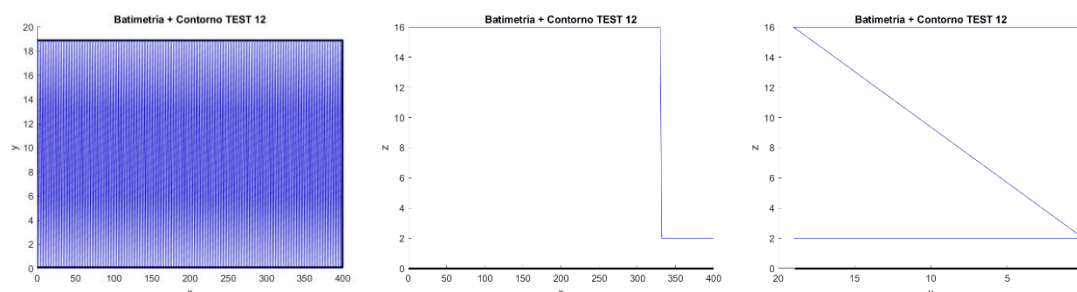


Figura 27. Batimetría y contorno - Test X.

### 1.10.2 Ubicación caso:

Se ha guardado el archivo con los resultados del modelo MSP con el nombre de la carpeta: **TEST X**. Dentro de la carpeta, se puede encontrar la batimetría, el contorno y el Excel con los casos ejecutados. En el interior de la carpeta, se encuentra una nueva carpeta con el nombre: **TEST\_X\_MSP** donde se pueden encontrar los resultados del modelo.

Tabla 24. Ubicación caso - Test X.

Ubicación archivos TEST X	
CARPETA 1: TEST X	Batimetría, Contorno, Casos, Carpeta 2
CARPETA 2: TEST_X_MSP	Resultados MSP

### 1.10.3 Montaje:

Los coeficientes de reflexión empleados en este caso han sido de 1 para todo el contorno, dado que en este caso el objetivo era simular un canal. Se pueden observar a continuación en la siguiente figura:

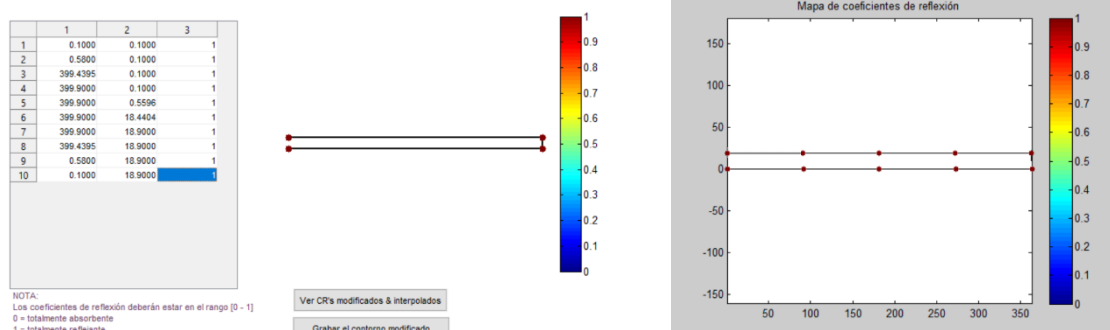


Figura 28. Coeficientes de reflexión- Test X.

En este caso, la malla ha sido realizada con un periodo de 5 segundos y el caso se ha ejecutado considerando oleaje espectral.

Tabla 25. Datos técnicos - Test X.

Datos técnicos TEST X	
Mallado	T = 5 s
Tiempo computacional mallado	2.4 s
Tiempo computacional por estado de mar	1 s

#### 1.10.4 Casos:

Para el test X los estados de mar ejecutados son los siguientes:

Tabla 26. Casos considerados - Test X.

YY	MM	DD	hh	mm	ss	H	T	Dir	Marea	Gama	Sigma	Wind	D_wind	ID
2011	7	1	11	0	0	1,000	10,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_1
2011	7	1	12	0	0	2,000	12,00	270,00	0,00	3,3	20	0,00	0,00	T1_2

En este caso únicamente se han ejecutado 2 casos. En primer lugar, un oleaje de 1m de altura de ola y 10 segundos de periodo y por otro lado 2m de altura de ola y 12 segundos de periodo. En este caso se han considerado no como oleaje monocromático sino como oleaje espectral.

#### 1.10.5 Resultados:

Se adjuntan los resultados visuales de la H en el dominio considerado para todos los casos, aunque pueden consultarse el resto de ellos en la carpeta indicada.

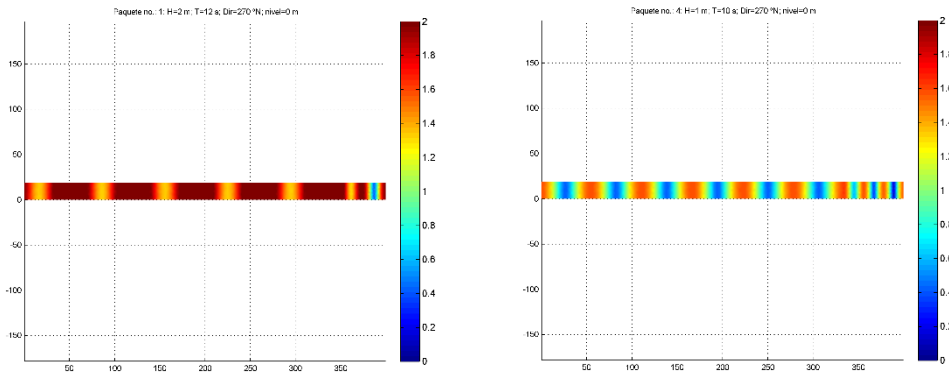


Figura 29. Mapas de agitación - Test X.

## 1. ANEXO 2: SCRIPTS REALIZADOS

### 1.1. Generación batimetrías y contornos - MSP:

```
1. clear all
2. close all
3. clc

4. %% GENERACIÓN DE BATIMETRÍAS Y CONTORNOS PARA EL ESTUDIO DE
   AMPLIFICACIÓN:

5. % Definición del dominio:
6. Dom = [1000;1000;400;400];

7. % Se define el número de puntos de los vectores:
8. Dim = [1001;1001;201;201;];

9. % Se define el calado:
10. Cal = [150;16;150;16];

11. % Se definen los contornos:
12. Contorno = [];

13. ContornoAmpl1 = [0.1 0.1;999.9 0.1;999.9 492.5;930.6 492.5;930.6
   493.5;999.9 493.5;999.9 507.5;930.6 507.5;930.6 508.5;...
14. 999.9 508.5;999.9 999.9;0.01 999.9];
15. Contorno(1:size(ContornoAmpl1,1),1:2) = ContornoAmpl1;

16. ContornoAmpl2 = [0.1 0.1;999.9 0.1;999.9 492.5;930.6 492.5;930.6
   493.5;999.9 493.5;999.9 507.5;930.6 507.5;930.6 508.5;...
17. 999.9 508.5;999.9 999.9;0.01 999.9];
18. Contorno(1:size(ContornoAmpl2,1),3:4) = ContornoAmpl2;

19. ContornoAmpl3 = [0.1 0.1;399.9 0.1;399.9 192.5;330.6 192.5;330.6
   193.5;399.9 193.5;399.9 207.5;330.6 207.5;330.6 208.5;...
20. 399.9 208.5;399.9 399.9;0.01 399.9];
21. Contorno(1:size(ContornoAmpl3,1),17:18) = ContornoAmpl3;

22. ContornoAmpl4 = [0.1 0.1;399.9 0.1;399.9 192.5;330.6 192.5;330.6
   193.5;399.9 193.5;399.9 207.5;330.6 207.5;330.6 208.5;...
23. 399.9 208.5;399.9 399.9;0.01 399.9];
24. Contorno(1:size(ContornoAmpl4,1),17:18) = ContornoAmpl4;

25. Pos0 = find(Contorno == 0);
26. Contorno(Pos0) = NaN;

27. % Se definen las columnas para cada uno de los test.
28. Col = [1 2; 3 4; 5 6; 7 8];

29. % Se define la posición de buque:
30. X1 = [930.6;930.6;330.6;330.6];
31. X2 = [999.9;999.9;399.9;399.9];
32. Y1 = [493.5;493.5;193.5;193.5];
33. Y2 = [507.5;507.5;207.5;207.5];

34. % Se define el numero de test realizado:
35. Test = char('TEST AMPLIFICACIÓN 1','TEST AMPLIFICACIÓN 2','TEST
   AMPLIFICACIÓN 3','TEST AMPLIFICACIÓN 4');
```

```

36. NumTest = char('T_AMP_1','T_AMP_2','T_AMP_3','T_AMP_4');
37. % Colores para los resultados:
38. Colors = [0.6 0 1; 0.6 0.2 1; 0.6 0.4 1; 0.6 0.6 1];

39. % Se genera batimetría y contorno:

40. for i = 1:4
41.     xlong = Dom(i); % Dimensión x batimetría
42.     ylong = Dom(i); % Dimensión y batimetría
43.     x1 = linspace(0,xlong,Dim(i)); % Vector de posiciones x.
44.     y1 = linspace(0,ylong,Dim(i)); % Vector de posiciones y.

45.     [x,y] = meshgrid(x1,y1); % Dominio matricial x-y batimetria.
46.     X = reshape(x, (Dim(i)*Dim(i)),1);
47.     Y = reshape(y, (Dim(i)*Dim(i)),1);

48. % Se crea una matriz de unos de las mismas dimensiones que X e Y
    y se
49. % multiplica por el valor del calado.
50. Z = ones(size(X)).*Cal(i);

51. % Se define el contorno:
52. Contorn = Contorno(:,Col(i,1):Col(i,2));

53. % Dentro del contorno: h = 2 m;

53.1. POSBuque = find(X(:,*)>=X1(i) & X(:,*)<=X2(i) &
    Y(:,*)>=Y1(i) & Y(:,*)<=Y2(i));
53.2. Z(POSBuque) = 2;

54. % Se guarda batimetría:
55. Batimetria = [X Y Z];

56. % Se representan los resultados:
57. fig1 = figure(1);
58. plot3(X,Y,Z,'Color',[Colors(i,1) Colors(i,2) Colors(i,3)])
59. title(['Batimetría + Contorno',Test(i,:)])
60. xlabel('x')
61. ylabel('y')
62. zlabel('z')
63. hold on
64. plot(Contorn(:,1),Contorn(:,2),'k','LineWidth',2)

65. % Se guardan los resultados:
66. save(['Batimetria',Test(i,:),'.dat'],'Batimetria','-ascii');
67. save(['Contorno',Test(i,:),'.dat'],'Contorn','-ascii');

68. % Se guardan las figuras de la representación del contorno y la
    batimetría.
69. view(0,90)
70. saveas(fig1,[NumTest(i,:),'_CONTBAT_XY.png']);
71. view(-90,0)
72. saveas(fig1,[NumTest(i,:),'_CONTBAT_YZ.png']);
73. view(0,0)
74. saveas(fig1,[NumTest(i,:),'_CONTBAT_XZ.png']);

75. close all
76. end

```

```

77.    %% GENERACIÓN DE BATIMETRÍAS Y CONTORNOS TEST MODELO MSP
      (VALIDACIÓN IH2VOF):
78.    clear all
79.    close all
80.    clc

81.    % Definición del dominio:
82.    Dom = [100;100;100;100;100;500;400;400;400];

83.    % Se define el número de puntos de los vectores:
84.    Dim = [201;201;201;201;201;201;201;201;201;];

85.    % Se define el calado:
86.    Cal = [150;150;80;150;150;150;150;150;16];

87.    % Se definen los contornos:
88.    Contorno = [];

89.    ContornoT1 = [20 42;89.3 42;89.3 58.8;20 58.8];
90.    Contorno(1:size(ContornoT1,1),1:2) = ContornoT1;

91.    ContornoT2 = [0.1 0.1;99.9 0.1;99.9 42.5;30.6 42.5;30.6
43.5;99.9 43.5;99.9 57.5;30.6 57.5;30.6 58.5;99.9 58.5;99.9
99.9;...
0.01 99.9];
92.    Contorno(1:size(ContornoT2,1),3:4) = ContornoT2;

93.    ContornoT3 = [0.1 0.1;99.9 0.1;99.9 42.5;30.6 42.5;30.6
43.5;99.9 43.5;99.9 57.5;30.6 57.5;30.6 58.5;99.9 58.5;99.9
99.9;...
0.01 99.9];
94.    Contorno(1:size(ContornoT3,1),5:6) = ContornoT3;

95.    ContornoT4 = [10.1 57.5 ;21.5 57.5;21.5 57.3;86.5 57.4;86.5
50.5;62.5 50.5;62.5 49.5;86.5 49.5;86.5 42.6;21.5 42.5;10 42.5];
96.    Contorno(1:size(ContornoT4,1),7:8) = ContornoT4;

97.    ContornoT5 = [0.1 90;86.5 90;86.5 58.5;10.1 58.5;10.1 57.5;21.5
57.5;21.5 57.3;86.5 57.4;86.5 50.5;62.5 50.5;62.5 49.5;...
98.    86.5 49.5;86.5 42.6;21.5 42.8;21.5 42.5;10 42.5;10 41.5;86.5
41.5;86.5 10;0.1 10];
99.    Contorno(1:size(ContornoT5,1),9:10) = ContornoT5;

100.   ContornoT6 = [0.1 0.1;499.9 0.1;499.9 242.5;430.6 242.5;430.6
243.5;499.9 243.5;499.9 257.5;430.6 257.5;430.6 258.5;...
101.   499.9 258.5;499.9 499.9;0.01 499.9];
102.   Contorno(1:size(ContornoT6,1),11:12) = ContornoT6;

103.   ContornoT7 = [0.1 0.1;399.9 0.1;399.9 192.5;330.6 192.5;330.6
193.5;399.9 193.5;399.9 207.5;330.6 207.5;330.6 208.5;...
104.   399.9 208.5;399.9 399.9;0.01 399.9];
105.   Contorno(1:size(ContornoT7,1),13:14) = ContornoT7;

106.   ContornoT8 = [0.1 0.1;399.9 0.1;399.9 192.5;330.6 192.5;330.6
193.5;399.9 193.5;399.9 207.5;330.6 207.5;330.6 208.5;...
107.   399.9 208.5;399.9 399.9;0.01 399.9];
108.   Contorno(1:size(ContornoT8,1),15:16) = ContornoT8;

109.   ContornoT9 = [0.1 0.1;399.9 0.1;399.9 192.5;330.6 192.5;330.6
193.5;399.9 193.5;399.9 207.5;330.6 207.5;330.6 208.5;...

```

```

110. 399.9 208.5;399.9 399.9;0.01 399.9];
111. Contorno(1:size(ContornoT9,1),17:18) = ContornoT9;

112. Pos0 = find(Contorno == 0);
113. Contorno(Pos0) = NaN;

114. % Se definen las columnas para cada uno de los test.
115. Col = [1 2; 3 4; 5 6; 7 8; 9 10; 11 12; 13 14; 15 16; 17 18];

116. % Se define la posición de buque:
117. X1 = [20;30.6;30.6;NaN;NaN;430.6;330.6;330.6;330.6];
118. X2 = [89.3;99.9;99.9;NaN;NaN;499.9;399.9;399.9;399.9];
119. Y1 = [42;42.5;42.5;NaN;NaN;243.5;193.5;193.5;193.5];
120. Y2 = [58.8;57.5;57.5;NaN;NaN;257.5;207.5;207.5;207.5];

121. % Se define el número de test realizado:
122. Test = char('TEST 1','TEST 2','TEST 3','TEST 4','TEST 5','TEST
    6','TEST 7','TEST 8','TEST 9');
123. NumTest = char('T1','T2','T3','T4','T5','T6','T7','T8','T9');
124. % Colores para los resultados:
125. Colors = [0 0 1; 0 0.2 1; 0 0.4 1;0 0.6 1;0 0.8 1;0 1 1;0 1
    0.8;0.2 1 0.6;0.2 0.8 0.6];

126. % Se genera batimetría y contorno:

127. for i = 1:9
128. xlong = Dom(i); % Dimensión x batimetría
129. ylong = Dom(i); % Dimensión y batimetría
130. x1 = linspace(0,xlong,Dim(i)); % Vector de posiciones x.
131. y1 = linspace(0,ylong,Dim(i)); % Vector de posiciones y.

132. [x,y] = meshgrid(x1,y1); % Dominio matricial x-y batimetria.
133. X = reshape(x, (Dim(i)*Dim(i)),1);
134. Y = reshape(y, (Dim(i)*Dim(i)),1);

135. % Se crea una matriz de unos de las mismas dimensiones que X e Y
    y se
136. % multiplica por el valor del calado.
137. Z = ones(size(X)).*Cal(i);

138. % Se define el contorno:
139. Contorn = Contorno(:,Col(i,1):Col(i,2));

140. % Dentro del contorno: h = 2 m;
141. if i <=3 || i>=6
142. POSBuque = find(X(:,*)>=X1(i) & X(:,*)<=X2(i) & Y(:,*)>=Y1(i) &
    Y(:,*)<=Y2(i));
143. Z(POSBuque) = 2;
144. else
145. POSBuque1 = find(X(:,*)>=10.1 & X(:,*)<=21.5 & Y(:,*)>=42.5 &
    Y(:,*)<=57.5);
146. POSBuque2 = find(X(:,*)>=21.5 & X(:,*)<=62.5 & Y(:,*)>=42.8 &
    Y(:,*)<=57.3);
147. POSBuque3 = find(X(:,*)>=62.5 & X(:,*)<=86.5 & Y(:,*)>=50.5 &
    Y(:,*)<=57.4);
148. POSBuque4 = find(X(:,*)>=62.5 & X(:,*)<=86.5 & Y(:,*)>=42.5 &
    Y(:,*)<=49.5);
149. Z(POSBuque1) = 2;
150. Z(POSBuque2) = 2;
151. Z(POSBuque3) = 2;

```



```

152. Z(POSBuque4) = 2;
153. end

154. % Se guarda batimetría:
155. Batimetria = [X Y Z];

156. % Se representan los resultados:
157. fig1 = figure(1);
158. plot3(X,Y,Z, 'Color', [Colors(i,1) Colors(i,2) Colors(i,3)])
159. title(['Batimetría + Contorno ', Test(i,:)])
160. xlabel('x')
161. ylabel('y')
162. zlabel('z')
163. hold on
164. plot(Contorn(:,1), Contorn(:,2), 'k', 'LineWidth', 2)

165. % Se guardan los resultados:
166. save(['Batimetria', Test(i,:), '.dat'], 'Batimetria', '-ascii');
167. save(['Contorno', Test(i,:), '.dat'], 'Contorn', '-ascii');

168. % Se guardan las figuras de la representación del contorno y la
    batimetría.
169. view(0,90)
170. saveas(fig1, [NumTest(i,:), '_CONTBAT_XY.png']);
171. view(-90,0)
172. saveas(fig1, [NumTest(i,:), '_CONTBAT_YZ.png']);
173. view(0,0)
174. saveas(fig1, [NumTest(i,:), '_CONTBAT_XZ.png']);

175. close all
176. end

```

## 2.2 Puntos de control: MSP – IH2VOF:

```

1. close all
2. clear all
3. clc
4.
5. %% Puntos de control MSP
6. % En el caso de modelo MSP únicamente se utilizan puntos de control
    para el
7. % estudio de amplificación, donde se introduzcan 3 puntos de
    control: al
8. % principio, a mitad y al final del buque para poder obtener la
    variación
9. % de altura de ola en esas 3 localizaciones.
10.
11. % Se introducen los puntos de control para el dominio de
    1000x1000 justo en
12. % la mitad del buque, para los 3 puntos comentados
    anteriormente.
13. Coord_Ampl_1000 = [931.6 500; 965 500 ;998.9 500];
14.
15. % Se introducen los puntos de control para el dominio de 400x400
    justo en
16. % la mitad del buque, para los 3 puntos comentados
    anteriormente.
17. Coord_Ampl_400 = [331.6 200; 365 200 ;398.9 200];

```

```

18.
19. % Se guardan los puntos de control en ficheros .dat.
20. save('Coord_Ampl_1000.dat','Coord_Ampl_1000','-ascii');
21. save('Coord_Ampl_400.dat','Coord_Ampl_400','-ascii');
22.
23. %% Puntos de control IH2VOF
24.
25. % Para el modelo IH2VOF se dividen los puntos de control en los
    3
26. % escenarios considerados, por un lado, el escenario que simula
    el buque
27. % con la compuerta abierta y por el cual entra el agua,
    simulando así la
28. % realidad y por otro lado intentando replicar la configuración
    del MSP
29. % poniendo un obstáculo debajo (T3 y T5). Por otro lado, se ha
    creado otra
30. % configuración donde se evaluarán los laterales del buque para
    obtener los
31. % coeficientes de reflexión (T4).
32.
33. % En el dominio más exterior se localizan puntos de control cada
    10 metros.
34. x1 = [10:20:240]';
35. % En la zona próxima al buque y en su interior, se localizan los
    puntos de
36. % control cada 3 metros.
37. x2 = [240:3:396]';
38. % En la zona posterior al buque se localizan los puntos de
    control cada 8
39. % metros.
40. x3 = [408:8:500]';
41.
42. % Se guardan los puntos de control para los tests 3 y 5.
43. X1 = [x1;x2;x3];
44.
45. % Se genera un nuevo vector de puntos de control por la posición
    del buque
46. % en el test 4.
47. x4 = [240:3:380]';
48. % Se guardan los puntos de control para el test 5.
49. X2 = [x1;x4;x3];
50.
51. % Se guardan los vectores con las localizaciones de los puntos
    de control.
52. save('Puntos_Control_T3_T5.dat','X1','-ascii');
53. save('Puntos_Control_T4.dat','X2','-ascii');
54.
55. % Por otro lado, se guardarán los mismos vectores de puntos de
    control pero
56. % incorporando los puntos de control necesarios para el estudio
    de los
57. % coeficientes de reflexión.
58. % Este se realizará para el caso de  $H = 2\text{m}$ ,  $T = 12\text{s}$ .
59.
60. % Periodo del oleaje incidente.
61. T = [12;12];
62.
63. h = 16; % Profundidad a pie de dique (m)
64. dique = [398,380]; % Distancia de la pared del dique vertical
    desde  $X = 0\text{ m}$ 

```

```

65.
66. % CALCULOS
67.
68. for i = 1:length(T)
69. % Se calcula la longitud de onda.
70. L = L_dispersion(h,T(i),9.81);
71. % Se calcula la posición del primer punto de control.
72. x_coord(i,1) = dique(i) - L/4
73.
74. % Distancias desde el primer punto.
75. x_coord(i,2) = x_coord(i,1) + L/10
76. x_coord(i,3) = x_coord(i,1) + L/6
77. end
78. % Se quitan decimales para poder introducirlo al modelo IH2VOF.
79. x_coord = round(x_coord,1);
80.
81. % Se añaden los nuevos puntos al resto de puntos definidos
    anteriormente
82. % para los test 3 y 5.
83. X1_R = [X1;x_coord(1,1);x_coord(1,2);x_coord(1,3)];
84. % Se orden en orden creciente.
85. X1_R = sort(X1_R);
86.
87. % Se añaden los nuevos puntos al resto de puntos definidos
    anteriormente
88. % para el test 4.
89. X2_R = [X2;x_coord(2,1);x_coord(2,2);x_coord(2,3)];
90. % Se ordenan en orden creciente.
91. X2_R = sort(X2_R);
92.
93. % Se guardan los nuevos puntos de control.
94. save('Puntos_Control_T3_T5_Reflexion.dat','X1_R','-ascii');
95. save('Puntos_Control_T4_Reflexion.dat','X2_R','-ascii');

```

### 2.3 Post-Procesado resultados MSP:

```

1 clear all
2 close all
3 clc

4 %% POST PROCESADO RESULTADOS MSP:

5 %% Post-Procesado varios test MSP: Monocromáticos.

6 % Se introduce la ubicación que contiene los resultados para cada
    test.
7 Casos = char('TEST VII\TEST_VII_MSP\Casos\MSP_000001_id_01\','TEST
    VII\TEST_VII_MSP\Casos\MSP_000002_id_02\','TEST
    VIII\TEST_VIII_TFM_2\Casos\MSP_000001_id_01\','...
8 'TEST
    VIII\TEST_VIII_TFM_2\Casos\MSP_000002_id_02\','TEST_IX\TEST_IX_MSP\
    Casos\MSP_000001_id_01\','TEST_IX\TEST_IX_MSP\Casos\MSP_000002_id_0
    2\','...
9 'TEST_XII\TEST_XII_MSP\Casos\MSP_000001_id_01\','TEST_XII\TEST_XII_
    MSP\Casos\MSP_000002_id_02\','TEST_XII\TEST_XII_MSP\Casos\MSP_00000
    3_id_03\','...
10 'TEST_XII\TEST_XII_MSP\Casos\MSP_000004_id_04\','TEST_XII\TEST_XII_
    MSP\Casos\MSP_000005_id_05\','TEST_XII\TEST_XII_MSP\Casos\MSP_00000
    6_id_06\','...

```

```

11 'TEST_X\TEST_X_MSP\Casos\MSP_000001_id_01\','TEST_X\TEST_X_MSP\Caso
s\MSP_000002_id_02\','TEST_X\TEST_X_MSP\Casos\MSP_000003_id_03\','..
.
12 'TEST_X\TEST_X_MSP\Casos\MSP_000004_id_04\','TEST_X\TEST_X_MSP\Caso
s\MSP_000005_id_05\','TEST_X\TEST_X_MSP\Casos\MSP_000006_id_06\');
13 % Se define el número de caracteres que contiene la ubicación de
cada caso
14 % definida anteriormente.
15 SizeCaso = [45;45;49;49;43;43;45;45;45;45;45;41;41;41;41;41];
16 % Se define un nombre para guardar los resultados.
17 Case =
    char('7_1','7_2','8_1','8_2','9_1','9_2','12_1','12_2','12_3','12_4
','12_5','12_6','2','3','1','5','6','4');
18 % Se definen los títulos de las figuras para cada caso.
19 titulo =
    char('7.1','7.2','8.1','8.2','9.1','9.2','12.1','12.2','12.3','12.4
','12.5','12.6','2','3','1','5','6','4');
20 % Se definen los colores para los gráficos resultantes.
21 Colores = [0 0 1;0 0.6 1;0.8 0.6 1];
22 % Se introduce la localización del buque en los test realizados.
23 InicioBarco = [330 0;330 3.5];
24 FinalBarco = [400 0;400 3.5];

25 % RESULTADOS:

26 % Se utilizan dos contadores.
27 conta = 1;
28 conta2 = 1;
29 % El bucle dará tantas vueltas como casos se consideren.
30 for i = 1:size(SizeCaso,1)
31 % Se introduce la parte de la ruta complementaria a la ubicación de
los
32 % archivos.
33 Ruta = ['C:\Users\Ana
Castellar\Desktop\TFM\','Casos(i,1:SizeCaso(i))'];
34 % Se carga el primer archivo necesario para el post-procesado.
35 load([Ruta,'MSP_GUIres.dat']);
36 Data = MSP_GUIres;
37 % Se introduce el segundo archivo necesario para el post-procesado.
38 if i == 1 || i == 2 || i == 3 || i == 4 || i == 5 || i == 6
39 tripl = xlsread(['MSP_GUIres_',Case(i,1:3),'.xlsx']);
40 else
41 tripl = xlsread(['MSP_GUIres_',Case(i,:),'.xlsx']);
42 end
43 % Se guardan los tripletes que corresponden a los nodos donde se
44 % obtiene información para graficar los resultados de todo el
dominio.
45 t = [tripl(:,2) tripl(:,3) tripl(:,4)];

46 fig1 = figure(1);
47 % Se representa la evolución de la altura de ola para todo el
dominio.
48 trisurf(t,Data(:,2).*-1,Data(:,1).*-
1,Data(:,3),'FaceColor','interp','EdgeColor','none')
49 xlabel('x(m)')
50 ylabel('y(m)')
51 title(['CASO',titulo(i,:)])
52 colorbar
53 % Se guarda la figura vista desde dos angulos diferentes.
54 view(0,90)
55 saveas(fig1,['Evolucion3D_Caso',Case(i,:),'.png']);

```

```

56 view(0,0)
57 saveas(fig1,['Evolucion3D_Caso',Case(i,:), 'View1.png']);

58 %Acceder a los objetos hijos del los ejes actuales (current axes).
59 D = get(gca, 'Children');
60 % Los datos están dentro de los ejes en XData, YData y ZData
61 XData = get(D, 'XData');
62 YData = get(D, 'YData');
63 ZData = get(D, 'ZData');
64 % Se define un espacio matricial con las medidas del dominio.
65 x=linspace(0,400,401);
66 y=x;
67 zz = Data(:,3);
68 [xx,yy]=meshgrid(x,y);
69 xc=xx(1,:);
70 yc = yy(1,:);
71 % Se obtiene la información de la altura de ola en el punto deseado
    del
72 % dominio. En este caso, se obtendrá para la evolución de x en la
    mitad
73 % de y.
74 zc=griddata(XData,YData,ZData,xc,yc);

75 % Se diferencian los casos para los colores de los resultados.
76 if i == 1 || i == 3 || i == 5 || i == 7 || i == 16 || i == 17 || i
    == 18
76.3 cont = 1;
77 elseif i == 2 || i == 4 || i == 6 || i == 8 || i == 13 || i == 14
    || i == 15
77.3 cont = 2;
78 else
78.3 cont = 3;
79 end

80 % Se representa la evolución de la altura de ola en el dominio
81 % considerado.
82 fig2 = figure(2);
83 plot(xc,zc, 'Color', [Colores(cont,:)], 'LineWidth',2)
84 hold on
85 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
86 hold on
87 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
88 xlabel('x (m)')
89 ylabel('H (m)')
90 title(['Evolución H - CASO ',titulo(i,:)])
91 saveas(fig2,['EvolucionH_Caso',Case(i,:), '.png']);

92 close all

93 % Se guardan los resultados en una matriz de determinados casos
    para la
94 % comparación posterior con los resultados del modelo IH2VOF.
95 if i == 7 || i == 8 || i == 9 || i == 10 || i == 11 || i == 12
95.3 Ev_H_Can_MSP(conta,1:401) = zc';
95.4 conta = conta + 1;
96 end
97 if i == 13 || i == 14 || i == 15 || i == 16 || i == 17 || i == 18
97.3 H_Ev_MSP(conta2,1:401) = zc';
97.4 conta2 = conta2+1;

```

```

98 end
99 end
100 % Se guarda la matriz de resultados.
101 save('Evolucion_MSP_Can.mat','Ev_H_Can_MSP');
102 save('Evolucion_MSP.mat','H_Ev_MSP');
103 save('Puntos_X.mat','xc');

104 %% Post-Procesado varios test MSP: Espectral - Configuración
    normal.

105 close all
106 clear all
107 clc

108 % Se introduce la ubicación que contiene los resultados para
    cada test.
109 Casos =
    char('TEST_X_Espectral\TEST_X_Espect_MSP\Casos\MSP_000001_id_01\');
110 % Se define un nombre para guardar los resultados.
111 Case = char('Espectral_Normal');
112 % Se definen los títulos de las figuras para cada caso.
113 titulo = char(' 2');
114 % Se definen los colores para los gráficos resultantes.
115 Colores = [0 0 1;0 0.6 1;0.8 0.6 1];
116 % Se introduce la localización del buque en los test realizados.
117 InicioBarco = [330 0;330 3.5];
118 FinalBarco = [400 0;400 3.5];
119 conta = 1;

120 % El bucle dará tantas vueltas como casos se consideren.
121 for i = 1
122 % Se introduce la parte de la ruta complementaria a la ubicación
    de los
123 % archivos.
124 Ruta = ['C:\Users\Ana Castellar\Desktop\TFM\Casos',Casos(i,1:58)];
125 % Se introduce el primer archivo necesario para el post-
    procesado.
126 load([Ruta,'MSP_GUIres.dat']);
127 Data = MSP_GUIres;
128 % Se introduce el segundo archivo necesario para el post-
    procesado.
129 tripl = xlsread(['MSP_GUIMEF_',Case(i,:),'.xlsx']);
130 t = [tripl(:,2) tripl(:,3) tripl(:,4)];

131 % Se representa la evolución de la altura de ola para todo el
    dominio.
132 fig1 = figure(1);
133 trisurf(t,Data(:,2).*-1,Data(:,1).*-
    1,Data(:,3),'FaceColor','interp','EdgeColor','none')
134 xlabel('x(m)')
135 ylabel('y(m)')
136 title(['CASO',titulo(i,:)])
137 colorbar
138 % Se guarda la figura vista desde dos angulos diferentes.
139 view(0,90)
140 saveas(fig1,['Evolucion3D_Espect_Caso',Case(i,:), 'View0.png']);
141 view(0,0)
142 saveas(fig1,['Evolucion3D_Espect_Caso',Case(i,:), 'View1.png']);

143 %Acceder a los objetos hijos del los ejes actuales (current
    axes)

```

```

144 D = get(gca, 'Children');
145 % Los datos están dentro de los ejes en XData, YData y ZData
146 XData = get(D, 'XData');
147 YData = get(D, 'YData');
148 ZData = get(D, 'ZData');
149 % Se define un espacio matricial con las medidas del dominio.
150 x=linspace(0,400,401);
151 y=x;
152 zz = Data(:,3);
153 [xx,yy]=meshgrid(x,y);
154 xc=xx(1,:);
155 yc = yy(1,:);
156 % Se obtiene la información de la altura de ola en el punto
    deseado del
157 % dominio. En este caso, se obtendrá para la evolución de x en
    la mitad
158 % de y.
159 zc=griddata(XData,YData,ZData,xc,yc);

160 % Se diferencian los casos para los colores de los resultados.
161 if i == 4 || i == 5 || i == 6
161.3 cont = 1;

162 else i == 1 || i == 2 || i == 3

162.3 cont = 2;
163 end

164 % Se representa la evolución de la altura de ola en el dominio
165 % considerado.
166 fig2 = figure(2);
167 plot(xc,zc, 'Color', [Colores(cont,:)], 'LineWidth',2)
168 hold on
169 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
170 hold on
171 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
172 xlabel('x (m)')
173 ylabel('H (m)')
174 title(['Evolución H - CASO ',titulo(i,:), ' (Espectral)'])
175 saveas(fig2,['EvolucionH_Caso',Case(i,:),'.png']);

176 % Se guardan los resultados en una matriz de determinados casos
    para la
177 % comparación posterior con los resultados del modelo IH2VOF.
178 H_Ev_MSP_Espect(i,1:401) = zc';
178.3 conta = conta+1;

179 close all

180 end

181 % Se guarda la matriz de resultados.
182 save('Evolucion_MSP_Espect.mat','H_Ev_MSP_Espect');

183 %% Post-Procesado varios test MSP: Espectral - Configuración
    Canal.

184 clear all
185 close all
186 clc

```

```

187 % Se introduce la ubicación que contiene los resultados para
    cada test.
188 Casos =
    char('TEST_XII_Espectral\TEST_XII_ESP_MSP\Casos\MSP_000001_id_01\')
    ;
189 % Se define un nombre para guardar los resultados.
190 Case = char('Canal_Espectral');
191 % Se definen los títulos de las figuras para cada caso.
192 titulo = char(' 2');
193 % Se definen los colores para los gráficos resultantes.
194 Colores = [0 0 1;0 0.6 1;0.8 0.6 1];
195 % Se introduce la localización del buque en los test realizados.
196 InicioBarco = [330 0;330 3.5];
197 FinalBarco = [400 0;400 3.5];
198 conta = 1;

199 % El bucle dará tantas vueltas como casos se consideren.
200 for i = 1
201 % Se introduce la parte de la ruta complementaria a la ubicación
    de los
202 % archivos.
203 Ruta = ['C:\Users\Ana Castellar\Desktop\TFM\Casos(i,1:59)'];
204 % Se introduce el primer archivo necesario para el post-
    procesado.
205 load([Ruta,'MSP_GUIres.dat']);
206 Data = MSP_GUIres;
207 % Se introduce el segundo archivo necesario para el post-
    procesado.
208 tripl = xlsread(['MSP_GUIMEF_',Case(i,:),'.xlsx']);
209 t = [tripl(:,2) tripl(:,3) tripl(:,4)];

210 % Se representa la evolución de la altura de ola para todo el
    dominio.
211 fig1 = figure(1);
212 trisurf(t,Data(:,2).*-1,Data(:,1).*-
    1,Data(:,3),'FaceColor','interp','EdgeColor','none')
213 xlabel('x(m)')
214 ylabel('y(m)')
215 title(['CASO',titulo(i,:)])
216 colorbar
217 % Se guarda la figura vista desde dos angulos diferentes.
218 view(0,90)
219 saveas(fig1,['Evolucion3D_Caso',Case(i,:),'.png']);
220 view(0,0)
221 saveas(fig1,['Evolucion3D_Caso',Case(i,:),'.png']);

222 %Acceder a los objetos hijos de los ejes actuales (current
    axes)

223 D = get(gca,'Children');

224 %Los datos están dentro de los ejes en XData, YData y ZData

225 XData = get(D,'XData');
226 YData = get(D,'YData');
227 ZData = get(D,'ZData');

228 x=linspace(0,400,401);
229 y=x;
230 zz = Data(:,3);
231 [xx,yy]=meshgrid(x,y);

```



```

232 xc=xx(1,:);
233 yc = yy(1,:);
234 % Se obtiene la información de la altura de ola en el punto
    deseado del
235 % dominio. En este caso, se obtendrá para la evolución de x en
    la mitad
236 % de y.
237 zc=griddata(XData,YData,ZData,xc,yc);

238 % Se diferencian los casos para los colores de los resultados.
239 if i == 1 || i == 3 || i == 5 || i == 7
239.3 cont = 1;
240 elseif i == 2 || i == 4 || i == 6 || i == 8

240.3 cont = 2;
241 else
241.3 cont = 3;
242 end

243 % Se representa la evolución de la altura de ola en el dominio
244 % considerado.
245 fig2 = figure(2);
246 plot(xc,zc,'Color',[Colores(cont,:)],'LineWidth',2)
247 hold on
248 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2),'k--')
249 hold on
250 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2),'k--')
251 xlabel('x (m)')
252 ylabel('H (m)')
253 title(['Evolución H - CASO ',titulo(i,:), ' (Espectral)'])
254 saveas(fig2,['EvolucionH_Caso',Case(i,:),'.png']);

255 close all

256 % Se guardan los resultados en una matriz de determinados casos
    para la
257 % comparación posterior con los resultados del modelo IH2VOF.
258 if i == 1
258.3 Ev_H_Can_MSP_Espectral(conta,1:401) = zc';
258.4 conta = conta + 1;
259 end
260 end

261 % Se guarda la matriz de resultados.
262 save('Evolucion_MSP_Can_Espectral.mat','Ev_H_Can_MSP_Espectral')
;

```

## 2.4 Post-Procesado resultados IH2VOF:

```

1 clear all
2 close all
3 clc

4 %% RESULTADOS IH2VOF
5 % INFORMACIÓN PREVIA:

6 % Se introduce el nombre asignado a cada uno de los test
    realizados.

```

```

7 Case =
  char('TEST_3_IH2VOF','TEST_5_IH2VOF','TEST_3_IH2VOF_2','TEST_5_IH2V
OF_2','TEST_3_IH2VOF_2_2','TEST_5_2_2',...
8 'TEST_3_IH2VOF_3','TEST_5_IH2VOF_5','TEST_3_IH2VOF_3_1','TEST_5_IH2
VOF_3_1','TEST_3_IH2VOF_3_2','TEST_5_IH2VOF_3_2');
9 % Se define el número de caracteres que contiene cada uno de los
  nombres de
10 % los test definidos.
11 Size = [13;13;15;15;17;10;15;15;17;17;17;17];
12 % Se define el número de sensores o puntos de control considerados
  en cada
13 % test.
14 Sensors = [79;77;77;77;77;77;77;77;77;77;77;77];
15 % Se asigna el título para las figuras para cada uno de los casos.
16 titulo = char('Evolución H - TEST 2 (IH2VOF)','Evolución H - TEST 2
(IH2VOF (MSP))','Evolución H - TEST 3 (IH2VOF)',...
17 'Evolución H - TEST 3 (IH2VOF (MSP))','Evolución H - TEST 1
(IH2VOF)','Evolución H - TEST 1 (IH2VOF (MSP))',...
18 'Evolución H - TEST 5 (IH2VOF)','Evolución H - TEST 5 (IH2VOF
(MSP))','Evolución H - TEST 6 (IH2VOF)',...
19 'Evolución H - TEST 6 (IH2VOF (MSP))','Evolución H - TEST 4
(IH2VOF)','Evolución H - TEST 4 (IH2VOF (MSP))');
20 % Se introduce la localización del buque en el dominio de estudio.
21 InicioBarco = [330 0;330 4];
22 FinalBarco = [400 0;400 4];

23 % RESULTADOS
24 % Se utiliza un contador.
25 conta = 1;
26 % El bucle dará tantas vueltas como casos se consideren.
27 for i = 1:size(Size,1)
28 % Se define la ruta donde se encuentran los resultados de los
  sensores
29 % para todos los casos.
30 Ruta = ['D:\CASES\',Case(i,1:Size(i)),'\Sensor_freeSurface\'];
31 NumArch = 1:1:Sensors(i,1);
32 Num = num2str(NumArch(1,:));
33 contador = 1;

34 % Se extrae la información de los sensores que registran la
  evolución
35 % de la superficie libre.
36 for k = 1:Sensors(i,1)
37 Num = num2str(k);
38 Heig = load([Ruta,'heig',Num]);
39 Aux = size(Heig,1);
40 Tiempos = Heig(:,1);
41 Results(1:Aux,contador) = Heig(:,2);
42 contador = contador + 1;
43 end

44 % Se modifica en función del calado considerado.
45 Results = Results-16;
46 H_Tot = ones(120,Sensors(i)).*0;
47 T_Tot = ones(120,Sensors(i)).*0;
48 cont = 1;

49 % Se calcula la evolución de la altura de ola y el periodo en el
50 % dominio de estudio. Se utiliza la función upcrossing.
51 for j=1:Sensors(i)

```

```

52 [T,H]=upcrossing(Tiempos,Results(:,j));
53 H_Tot(1:size(H,2),cont) = H;
54 T_Tot(1:size(T,2),cont) = T;
55 cont = cont + 1;
56 end

57 % Se añade una nueva ruta para cargar las localizaciones de los
58 % sensores.
59 RutaAux = 'C:\Users\Ana Castellar\Desktop\TFM\';
60 x = load([RutaAux,'Puntos_CASE_3_5.dat']);

61 % Se representa la evolución de la altura de ola para el dominio de
62 % estudio y considerando la localización de los sensores y los
63 % resultados obtenidos.
64 fig1 = figure(1);
65 if Sensors(i) == 79
66 plot(x,H_Tot(60,:), 'Color',[0 0.8 0.8], 'LineWidth',1)
67 hold on
68 plot(x,H_Tot(60,:), '.', 'MarkerSize',10, 'Color',[0 0.8 0.8])
69 hold on
70 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
71 hold on
72 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
73 xlabel('x (m)')
74 ylabel('H (m)')
75 title(titulo(i,:))
76 saveas(fig1,[titulo(i,:), '.png']);
77 else
78 if i == 2 || i == 5 || i == 6 || i == 7 || i == 8 || i == 11 || i
== 12
79 x = [x(1:65);x(68:end)];
80 plot(x,H_Tot(60,:), 'Color',[0 0.8 0.8], 'LineWidth',1)
81 hold on
82 plot(x,H_Tot(60,:), '.', 'MarkerSize',10, 'Color',[0 0.8 0.8])
83 hold on
84 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
85 hold on
86 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
87 xlabel('x (m)')
88 ylabel('H (m)')
89 title(titulo(i,:))
90 saveas(fig1,[titulo(i,:), '.png']);
91 else
92 x = [x(1:65);x(68:end)];
93 plot(x,H_Tot(48,:), 'Color',[0 0.8 0.8], 'LineWidth',1)
94 hold on
95 plot(x,H_Tot(48,:), '.', 'MarkerSize',10, 'Color',[0 0.8 0.8])
96 hold on
97 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
98 hold on
99 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
100 xlabel('x (m)')
101 ylabel('H (m)')
102 title(titulo(i,:))
103 saveas(fig1,[titulo(i,:), '.png']);
104 end
105 end

106 contador = 1;;
107 close all

```

```

108 % Se guardan los resultados obtenidos de la evolución de la
    altura de
109 % ola en el dominio en una matriz.
110 if i == 1
111     H_Tot = [H_Tot(:,1:65) H_Tot(:,68:end)];
112     H_Ev(conta,1:77) = H_Tot(60,:);
113     conta = conta+1;
114     elseif i == 2 || i == 5 || i == 6 || i == 7 || i == 8 || i ==
        11 || i == 12
115     H_Ev(conta,1:77) = H_Tot(60,:);
116     conta = conta+1;
117     elseif i == 3 || i == 4 || i == 9 || i == 10
118     H_Ev(conta,1:77) = H_Tot(48,:);
119     conta = conta+1;
120 end

121 end

122 % Se guarda la matriz como un archivo .mat.
123 save('Evolucion_VOF.mat','H_Ev');

```

## 2.5 Post-Procesado comparación resultados MSP vs IH2VOF:

```

1 clear all
2 close all
3 clc

4 %% RESULTADOS VOF + MSP (CASOS MONOCROMÁTICOS):

5 % Se cargan los archivos extraídos de el post-procesado de los
    resultados
6 % tanto del modelo MSP como del modelo IH2VOF.
7 load('Evolucion_MSP.mat');
8 load('Evolucion_MSP_Can.mat');
9 load('Evolucion_Vof.mat');
10 load('Puntos_X.mat');
11 load('Puntos_VOF.dat')
12 % Se definen los puntos de control que se van a considerar para el
    modelo
13 % IH2VOF.
14 Puntos_VOF = [Puntos_VOF(1:65,1);Puntos_VOF(68:end,1)];
15 InicioBarco = [330 0;330 3.5];
16 FinalBarco = [400 0;400 3.5];

17 % Se define el dominio considerado para la representación de los
18 % resultados con información para cada metro del dominio.
19 X = linspace(0,500,501);

20 % Se crea una interpolación de los resultados para obtener la
    información
21 % en todos los puntos considerados para la representación de los
22 % resultados.
23 for i = 1:12
24     H_Ev_Int(i,1:501) = interp1(Puntos_VOF,H_Ev(i,:),X);
25 end

26 % Se crea una ruta donde guardar los resultados.
27 RutaSave = 'C:\Users\Ana
    Castellar\Desktop\TFM\ResultadosMSP_VOF\FIGURAS\';

```

```

28 % Se definen los títulos para las figuras:
29 titulo = char('CASO 2: H = 2m T = 12s','CASO 3: H = 2m T =
    15s','CASO 1: H = 2m T = 9s ','CASO 5: H = 1m T = 10s',...
30 'CASO 6: H = 1m T = 13s','CASO 4: H = 2m T = 7s ');
31 % Se definen los nombres con los cuales se guardaran las figuras:
32 Case =
    char('EvolucionH_Caso_2_12','EvolucionH_Caso_2_15','EvolucionH_Caso
    _2_9 ','EvolucionH_Caso_1_10.png','EvolucionH_Caso_1_13',...
33 'EvolucionH_Caso_1_7 ');
34 CaseDet =
    char('EvolucionH_Caso_2_12_Detalle','EvolucionH_Caso_2_15_Detalle',
    'EvolucionH_Caso_2_9_Detalle ','EvolucionH_Caso_1_10_Detalle',...
35 'EvolucionH_Caso_1_13_Detalle','EvolucionH_Caso_1_7_Detalle ');
36 % Se las filas donde se encuentran los resultados para el modelo
    IH2VOF.
37 Ncase = (1:1:12)';

38 cont1 = 1;
39 cont2 = 1;
40 % El bucle dará tantas vueltas como casos se consideren.
41 for j = 1:6

42 % Se representan los resultados: Figura 1 = Dominio completo //
43 %Figura 2 = Zoom Dominio buque.

44 fig1 = figure(1);
45 plot(xc,H_Ev_MSP(j,:), 'Color',[1 0.8 0], 'LineWidth',1.5);
46 hold on
47 plot(xc,Ev_H_Can_MSP(j,:), 'Color',[0.8 0.2 0.4], 'LineWidth',1.5);
48 hold on
49 plot(X,H_Ev_Int(Ncase(cont1),:), 'Color',[0 0.4
    0.2], 'LineWidth',1.5);
50 hold on
51 cont1 = cont1 + 1;
52 plot(X,H_Ev_Int(Ncase(cont1),:), 'Color',[0.2 0.6
    0.8], 'LineWidth',1.5);
53 hold on
54 cont1 = cont1 + 1;
55 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2), 'k--')
56 hold on
57 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2), 'k--')
58 legend('MSP', 'MSP Canal', 'IH2VOF', 'IH2VOF (Obstáculo)', 'Posición
    Buque');
59 title(titulo(j,:))
60 saveas(fig1, [RutaSave, Case(j,:), '.png']);

61 fig2 = figure(2);
62 plot(xc(331:end),H_Ev_MSP(j,331:end), 'Color',[1 0.8
    0], 'LineWidth',1.5);
63 hold on
64 plot(xc(331:end),Ev_H_Can_MSP(j,331:end), 'Color',[0.8 0.2
    0.4], 'LineWidth',1.5);
65 hold on
66 plot(X(331:401),H_Ev_Int(Ncase(cont2),331:401), 'Color',[0 0.4
    0.2], 'LineWidth',1.5);
67 hold on
68 cont2 = cont2 + 1;
69 plot(X(331:401),H_Ev_Int(Ncase(cont2),331:401), 'Color',[0.2 0.6
    0.8], 'LineWidth',1.5);
70 hold on
71 cont2 = cont2 + 1;

```

```

72 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2),'k--')
73 hold on
74 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2),'k--')
75 legend('MSP','MSP Canal','IH2VOF','IH2VOF (Obstáculo)','Posición
Buque');
76 title(titulo(j,:))
77 xlim([325 405])
78 saveas(fig2,[RutaSave,CaseDet(j,:),'.png']);

79 close all
80 end

81 %% RESULTADOS VOF + MSP (CASOS ESPECTRALES):

82 clear all
83 close all
84 clc

85 % Se cargan los archivos extraídos de el post-procesado de los
resultados
86 % tanto del modelo MSP como del modelo IH2VOF.
87 load('Evolucion_MSP_Espect.mat');
88 load('Evolucion_MSP_Can_Espectral.mat');
89 load('Evolucion_VOF_Espect.mat');
90 load('Puntos_X.mat');
91 load('Puntos_VOF.dat')

92 % Se definen los puntos de control que se van a considerar para el
modelo
93 % IH2VOF.
94 Puntos_VOF = [Puntos_VOF(1:65,1);Puntos_VOF(68:end,1)];
95 InicioBarco = [330 0;330 3.5];
96 FinalBarco = [400 0;400 3.5];

97 % Se define el dominio considerado para la representación de los
98 % resultados con información para cada metro del dominio.
99 X = linspace(0,500,501);
100 % Se crea una interpolación de los resultados para obtener la
información
101 % en todos los puntos considerados para la representación de los
102 % resultados.
103 for i = 1:2
104     H_Ev_Int(i,1:501) = interp1(Puntos_VOF,H_Ev_Espect(i,:),X);
105 end
106 % Se crea una ruta donde guardar los resultados.
107 RutaSave = 'C:\Users\Ana
Castellar\Desktop\TFM\ResultadosMSP_VOF\FIGURAS\';

108 % Se representan los resultados: Figura 1 = Dominio completo //
Figura 2 =
109 % Zoom Dominio buque.
110 fig1 = figure(1);
111 plot(xc,H_Ev_MSP_Espect(1,:), 'Color',[1 0.8 0], 'LineWidth',1.5);
112 hold on
113 plot(xc,Ev_H_Can_MSP_Espectral(1,:), 'Color',[0.8 0.2
0.4], 'LineWidth',1.5);
114 hold on
115 plot(X,H_Ev_Int(1,:), 'Color',[0 0.4 0.2], 'LineWidth',1.5);
116 hold on
117 plot(X,H_Ev_Int(2,:), 'Color',[0.2 0.6 0.8], 'LineWidth',1.5);
118 hold on

```

```

119 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2),'k--')
120 hold on
121 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2),'k--')
122 legend('MSP','MSP Canal','IH2VOF','IH2VOF (Obstáculo)','Posición
Buque');
123 title('CASO 2: Hs = 2m Tp = 12s (OLEAJE IRREGULAR)')
124 saveas(fig1,[RutaSave,'EvolucionH_Caso_2_12_Espectral','.png']);

125 fig2 = figure(2);
126 plot(xc(331:end),H_Ev_MSP_Espect(1,331:end),'Color',[1 0.8
0], 'LineWidth',1.5);
127 hold on
128 plot(xc(331:end),Ev_H_Can_MSP_Espectral(1,331:end),'Color',[0.8
0.2 0.4], 'LineWidth',1.5);
129 hold on
130 plot(X(331:401),H_Ev_Int(1,331:401),'Color',[0 0.4
0.2], 'LineWidth',1.5);
131 hold on
132 plot(X(331:401),H_Ev_Int(2,331:401),'Color',[0.2 0.6
0.8], 'LineWidth',1.5);
133 hold on
134 plot(InicioBarco(:,1),InicioBarco(:,2),'k--')
135 hold on
136 plot(FinalBarco(:,1),FinalBarco(:,2),'k--')
137 legend('MSP','MSP Canal','IH2VOF','IH2VOF (Obstáculo)','Posición
Buque');
138 title('CASO 2: Hs = 2m Tp = 12s (OLEAJE IRREGULAR)')
139 xlim([325 405])
140 saveas(fig2,[RutaSave,'EvolucionH_Caso_2_12_Espectral_Detalle',
'.png']);

```

## 2.6 CÓDIGOS FORECAST:

### 2.6.1 Código principal

```

1 clc
2 clear all
3 clear all
4
5 % El siguiente código ha sido realizado con el objetivo de poder
proporcionar
6 % los resultados correspondientes para la agitación que pueda
producirse en
7 % el interior del buque "Juan Carlos I" considerando la predicción
de 72h,
8 % para cualquier localización que se escoja y para cualquier
orientación
9 % del buque que se defina.
10
11 tStart = tic;
12 %% RUTAS
13
14 % Se crean las diferentes rutas tanto para cargar los archivos
necesarios
15 % como para posteriormente guardar los archivos que se extraigan
como resultados.
16 ruta_load = [pwd,'\DATOS\'];
17 ruta_save = [pwd,'\results\'];
18 ruta_save_FIG = [pwd,'\results\'];
19 % Rutas HTML:

```

```

20 ruta_save_figs = [pwd, '\\TEMPLATE_HTML_TFM_ANA\\images\\fulls\\'];
21 ruta_save_anim = [pwd, '\\TEMPLATE_HTML_TFM_ANA\\anime\\'];
22
23 label_dir = datestr(now, 'dd-mm-yy');
24 mkdir([ruta_save, label_dir]);
25
26 ruta_save = [ruta_save, label_dir, '\\'];
27 mkdir([ruta_save, 'Figuras']);
28 ruta_save_figuras = [ruta_save, 'Figuras', '\\'];
29
30 addpath(genpath([pwd, '\\functions']));
31
32 %% CARGAR DATOS
33
34 % Se cargan los datos necesarios para el código:
35 % En primer lugar, se carga la matriz que contiene los inputs con
    los
36 % cuales han sido ejecutados los casos del catálogo.
37 load([ruta_load, 'input_norte.dat']);
38 % En segundo lugar, se cargan los resultados obtenidos para todo el
    dominio
39 % considerado de la altura de ola para todos los inputs del
    catálogo.
40 load([ruta_load, 'MAPAS_BAJA_din_Hs.mat']);
41 % En tercer lugar, se cargan las coordenadas de todos los puntos
    del
42 % dominio.
43 load([ruta_load, 'p_utm.mat']);
44 % Finalmente, se cargan los tripletes que definen la malla en
    elementos
45 % finitos que ha sido utilizada para el montaje de todos los casos
    con el
46 % modelo MSP.
47 load([ruta_load, 't.mat']);
48
49 %% INPUT
50
51 % Se define el retraso en la prediccion con respecto a hoy.
52 delay = 0;
53
54 %% DESCARGA DE LA PREDICCIÓN:
55
56 % Mediante la siguiente función se descarga la predicción de oleaje
    para
57 % 72h vista considerando la malla "Península y Baleares" de Puertos
    del
58 % Estado. A partir de esta función, se define la localización donde
59 % representa que está situado el buque y la orientación que
    presenta este
60 % mismo.
61 [RES, Orient, Lim, CoordOrient] = PdE_forecast([], [], delay);
62 % Se guardan la predicción descargada en una matriz.
63 save([ruta_save, 'prediccion-', label_dir, '.mat'], 'RES', '-mat');
64
65 % Se representa el punto escogido como la localización del buque.
66 fig = figure(1);
67 latFig = RES(1,7);
68 lonFig = RES(1,8);
69 geoplots(latFig, lonFig, '.r', 'MarkerSize', 10)
70 geolimits([Lim(1,1) Lim(1,2)], [Lim(2,1) Lim(2,2)])
71 geobasemap colorterrain

```



```

72 title(['LOCALIZACIÓN DEL BUQUE: ', num2str(RES(1,7)), ' /
    ', num2str(RES(1,8))])
73 print(fig, [ruta_save_figs, 'LocalizacionBuque.png'], '-dpng', '-r300');
74 print(fig, [ruta_save_figuras, 'LocalizacionBuque.png'], '-dpng', '-r300');
75
76 % Se representa el buque con la nueva orientación.
77 fig2 = figure(2);
78 trisurf(t, CoordOrient(:,1), CoordOrient(:,2), C(:,1).*0);
79 view(0,90)
80 axis equal
81 shading interp
82 title(['ORIENTACIÓN DEL BUQUE: ', num2str(Orient), ' °'])
83 print(fig2, [ruta_save_figs, 'Buque_Orientado', '.png'], '-dpng', '-r300');
84 print(fig2, [ruta_save_figuras, 'Buque_Orientado', '.png'], '-dpng', '-r300');
85
86 %% EMPAREJAMIENTO DE LAS PREDICCIONES CON LOS CASOS DEL CATÁLOGO
    PRE-EJECUTADO:
87
88 % El objetivo de la siguiente función es buscar en el catálogo pre-
    ejecutado
89 % el caso más similar a la predicción descargada.
90 [INPUT_CASE, Casos] = OpenCat(Orient, RES);
91
92 % Se representa el mapa de agitación para los casos seleccionados.
93 for i = 1:size(RES,1)
94
95     fig3 = figure(3);
96     trisurf(t, CoordOrient(:,1), CoordOrient(:,2), C(:, Casos(i))));
97     view(0,90)
98     axis equal
99     shading interp
100     title(['(num2str(datestr(RES(i,1), 'dd-mmm-yyyy
        HH:MM:SS'))))%'; 'H = ', num2str(RES(i,2)), ' m', ' T =
        ', num2str(RES(i,3)), ' s', ' Dir =
        ', num2str(RES(i,6))], 'FontWeight', 'Normal')
101     colorbar
102     LimMax = max(C(:, Casos));
103     LimMax = max(LimMax);
104     caxis([0 (LimMax+0.5)])
105
106     print(fig3, [ruta_save_anim, 'Mapa_H_Prediccion_', num2str(i), '.png'],
        '-dpng', '-r300');
107
108     print(fig3, [ruta_save_figuras, 'Mapa_H_Prediccion_', num2str(i), '.png
        '], '-dpng', '-r300');
109 end
110
111 %% PUNTOS DE CONTROL:
112
113 % En la siguiente función se busca conocer la evolución de la
    altura de ola
114 % en 3 puntos control: Uno situado en la zona más exterior del
    interior del
115 % buque, otro punto en la zona central y finalmente, un punto en
    el
116 % interior del buque.

```

```

115 [CoordPuntos,H_i,H_m,H_f] =
    PuntosControl(Orient,Casos,CoordOrient);
116
117 % Se representa la posición de los 3 puntos de control.
118 fig4 = figure(4)
119 trisurf(t,CoordOrient(:,1),CoordOrient(:,2),C(:,1).*0);
120 view(0,90)
121 axis equal
122 shading interp
123 title(['ORIENTACIÓN DEL BUQUE: ',num2str(Orient),' °'])
124 hold on
125 plot(CoordPuntos(1,1),CoordPuntos(1,2),'.k','MarkerSize',10)
126 hold on
127 plot(CoordPuntos(2,1),CoordPuntos(2,2),'.k','MarkerSize',10)
128 hold on
129 plot(CoordPuntos(3,1),CoordPuntos(3,2),'.k','MarkerSize',10)
130 title('Puntos de Control - Evolución H')
131 print(fig4,[ruta_save_figuras,'Puntos_Control_Orientado.png'],'-
    dpng','-r300');
132 print(fig4,[ruta_save_figuras,'Puntos_Control_Orientado.png'],'-
    dpng','-r300');
133
134 % Se representa la evolución de los inputs H, T y Dirección de
    los casos
135 % seleccionados.
136 fig5 = figure(5)
137 subplot(3,1,1)
138 plot(RES(:,1),INPUT_CASE(Casos,1),'Color',[0 0.4
    0.4],'Linewidth',1)
139 xlabel('Fecha')
140 ylabel('H (m)')
141 datetick('x',19)
142 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
143 ylim([0 (max(RES(:,2))+2)])
144 title('Evolución H (m) (INPUT)')
145 grid on
146
147 subplot(3,1,2)
148 plot(RES(:,1),INPUT_CASE(Casos,2),'Color',[0 0.6
    0.4],'Linewidth',1)
149 xlabel('Fecha')
150 ylabel('T (s)')
151 datetick('x',19)
152 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
153 ylim([0 (max(RES(:,3))+3)])
154 title('Evolución Periodo (s) (INPUT)')
155 grid on
156
157 subplot(3,1,3)
158 plot(RES(:,1),INPUT_CASE(Casos,3),'Color',[0 0.8
    0.4],'Linewidth',1)
159 xlabel('Fecha')
160 ylabel('Dir (°)')
161 datetick('x',19)
162 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
163 ylim([0 360])
164 title('Evolución Dirección (°) (INPUT)')
165 grid on
166 print(fig5,[ruta_save_figs,'Evolucion_INPUTS_H_T_Dir.png'],'-
    dpng','-r300');

```

```

167 print(fig5,[ruta_save_figuras,'Evolucion_INPUTS_H_T_Dir.png'],'-
    dpng','-r300');
168
169 % Se representa la evolución de H en los 3 puntos control.
170 fig6 = figure(6)
171 subplot(3,1,1)
172 plot(RES(:,1),H_i,'Color',[0 0 0.8],'Linewidth',1)
173 xlabel('Fecha')
174 ylabel('H (m)')
175 datetick('x',19)
176 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
177 ylim([0 max(RES(:,2))+1])
178 grid on
179 title('Evolución H (PUNTO EXTERIOR)')
180
181 subplot(3,1,2)
182 plot(RES(:,1),H_m,'Color',[0 0.4 0.8],'Linewidth',1)
183 xlabel('Fecha')
184 ylabel('H (m)')
185 datetick('x',19)
186 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
187 ylim([0 max(RES(:,2))+1])
188 title('Evolución H (PUNTO CENTRAL)')
189 grid on
190
191 subplot(3,1,3)
192 plot(RES(:,1),H_f,'Color',[0 0.8 0.8],'Linewidth',1)
193 xlabel('Fecha')
194 ylabel('H (m)')
195 datetick('x',19)
196 xlim([RES(1,1) RES(end,1)])
197 ylim([0 max(RES(:,2))+1])
198 title('Evolución H (PUNTO INTERIOR)')
199 grid on
200 print(fig6,[ruta_save_figs,'Evolucion_H_PuntosControl.png'],'-
    dpng','-r300');
201 print(fig6,[ruta_save_figuras,'Evolucion_H_PuntosControl.png'],'
    -dpng','-r300');
202
203

```

### 2.6.1.2 Función Descarga Predicción – Orientación Buque

```

1 function [RES2,Orient,Lim,CoordOrient] =
    PdE_forecast(lat0,lon0,delay)
2 cd(pwd);
3 addpath([pwd,'\data\dependencias\'])
4 addpath([pwd,'\data\dependencias\mexcdf\mexnc\'])
5 addpath([pwd,'\data\dependencias\mexcdf\snctools\'])
6 javaaddpath([pwd,'\data\dependencias\netcdfAll-4.0.jar'],'-end');
    ;
7 setpref('SNCTOOLS','USE_JAVA',true);
8 addpath(genpath([pwd,'\functions\']));
9
10 %% Se establece la ruta del OPENDAP al que quiero conectarme
11 ruta0_w =
    'http://opendap.puertos.es/thredds/dodsC/wave_regional_aib/HOURLY
    /'; % Regional - Península y Baleares - mediterráneo
12
13

```

```

14  %% Realiza la rutina de lectura del OPENDAP de PdE y la bajada de
    la variable NETCDF
15  ruta_load = [pwd, '\DATOS\'];
16  load([ruta_load, 'p_utm.mat']);
17  load([ruta_load, 'MAPAS_BAJA_din_Hs.mat']);
18  trip = load([ruta_load, 't.mat']);
19  ti=now-datenum(0,0,delay,0,0,0);
20  te=datestr(ti, 'yyyymmdd');
21
22  tlim=str2num(datestr(ti, 'HH'));
23  te=[te, '00'];
24
25  ti=datetime(te, 'yyyymmddHH');
26  tf=ti+datetime(0,0,3,0,0,0);
27  t=ti:datetime(0,0,0,1,0,0):tf;
28  t(1)=[];
29  tv=datevec(t);
30
31  disp('--> Accediendo al OPENDAP de PdE:');
32
33  RES{1,1}='fecha';
34  RES{1,2}='hora';
35  RES{1,3}='t(sdn)';
36  RES{1,4}='Hs';
37  RES{1,5}='tp';
38  RES{1,6}='tm';
39  RES{1,7}='Dir_p';
40  RES{1,8}='Dir_m';
41  % RES{1,9}='MM';
42
43  %% DESCARGA
44
45  tic
46  for i=1:length(t)
47      %% WAVES
48      nombre_n = ['HW-',datestr(t(i), 'yyyymmddHH'), '-B',te, '-
FC.nc'];
49      url_ih_n = [ruta0_w,nombre_n];
50
51
52      e = 0;
53      while e < 1
54          try
55
56              timen = nc_varget(url_ih_n, 'time'); %
units: hours since 1950-01-01 00:00:00 UTC
57              lonn = nc_varget(url_ih_n, 'longitude');
58              latn = nc_varget(url_ih_n, 'latitude');
59              tt(i)=(timen/24)+datetime(1950,1,1,0,0,0);
60              ts{i}=datestr(tt);
61              RE = 'Si';
62
63              %% Únicamente se quiere escoger la localización y la
orientación del buque en la primera vuelta del bucle.
64
65              % En esta primera parte del código se define la
localización
66              % del buque, considerando varias posibilidades de
hacer zoom en
67              % el dominio.
68              if i == 1

```

```

69         while RE == 'Si'
70
71             fig = figure(1);
72             latFig = median(latn);
73             lonFig = median(lonn);
74             geoplot(latFig,lonFig)
75             geolimits([min(latn) max(latn)], [min(lonn)
max(lonn)])
76             geobasemap colorterrain
77             title('ESCOJA LOCALIZACIÓN DEL BUQUE')
78
79             RE1=questdlg('¿Quiere hacer zoom en alguna
zona del mapa?', '', 'Si', 'No', []);
80             if RE1 == 'Si'
81                 RE2= questdlg('¿En que zona quiere hacer
zoom?', '', 'Norte', 'Sur', []);
82                 switch RE2
83                     case 'Norte'
84                         fig = figure(1)
85                         geolimits([latFig
max(latn)], [min(lonn) max(lonn)])
86                         RE3 = questdlg('¿Quiere hacer más
zoom?', '', 'Si', 'No', []);
87                         if RE3 == 'Si'
88                             RE4= questdlg('¿En que zona
quiere hacer zoom?', '', 'Este', 'Oeste', []);
89                             switch RE4
90                                 case 'Este'
91                                     fig = figure(1)
92                                     geolimits([latFig
max(latn)], [-3.7 max(lonn)])
93                                     xy = ginput(1);
94                                     lat0 = xy(1);
95                                     lon0 = xy(2);
96                                 case 'Oeste'
97                                     fig = figure(1)
98                                     geolimits([latFig
max(latn)], [min(lonn) -3.7])
99                                     xy = ginput(1);
100                                    lat0 = xy(1);
101                                    lon0 = xy(2);
102                                 end
103                             else
104                                 fig = figure(1)
105                                 geolimits([latFig
max(latn)], [min(lonn) max(lonn)])
106                                 xy = ginput(1);
107                                 lat0 = xy(1);
108                                 lon0 = xy(2);
109                                 end
110                             case 'Sur'
111                                 fig = figure(1)
112                                 geolimits([min(latn)
40.41], [min(lonn) max(lonn)])
113
114                                 RE3_2 = questdlg('¿Quiere hacer
más zoom?', '', 'Si', 'No', []);
115
116                                 if RE3_2 == 'Si'
117                                     RE5 = questdlg('¿En que zona
quiere hacer zoom?', '', 'Este', 'Oeste', []);

```

```

118                                     switch RE5
119                                         case 'Este'
120                                             fig = figure(1)
121                                             geolimits([min(latn)
40.41],[ -3.7 max(lonn)])
122                                             xy = ginput(1);
123                                             lat0 = xy(1);
124                                             lon0 = xy(2);
125                                         case 'Oeste'
126                                             fig = figure(1)
127                                             geolimits([min(latn)
40.41],[min(lonn) -3.7])
128                                             xy = ginput(1);
129                                             lat0 = xy(1);
130                                             lon0 = xy(2);
131                                         end
132                                     else
133                                         fig = figure(1)
134                                         geolimits([min(latn)
40.41],[min(lonn) max(lonn)])
135                                         xy = ginput(1);
136                                         lat0 = xy(1);
137                                         lon0 = xy(2);
138                                     end
139                                 end
140                                else
141                                    xy = ginput(1);
142                                    lat0 = xy(1);
143                                    lon0 = xy(2);
144                                end
145                                RE=questdlg('¿Quiere escoger otra
localización?', '','Si','No','[]');
146                                end
147                                close all
148
149                            end
150
151                            % En esta segunda parte del código se define la
orientación
152                            % del buque, permitiendo siempre cambiar de opción
antes de continuar
153                            % con la ejecución del código.
154
155                            if i == 1
156                                xroti =(p_utm(:,1).*cosd(90))-
(p_utm(:,2).*sind(90));
157                                yroti
=(p_utm(:,1).*sind(90))+(p_utm(:,2).*cosd(90));
158
159                                ReO = 'Si'
160                                while ReO == 'Si'
161
162                                    fig2 = figure(2);
163
164                                    trisurf(trip.t,xroti(:,1),yroti(:,1),C(:,1).*0);
165                                    view(0,90)
166                                    axis equal
167                                    shading interp
168                                    title('ORIENTACIÓN DEL BUQUE')

```

```

169         prompt = {'Defina la orientación del buque
respecto al norte (°)'};
170         dlgtitle = 'Orientación del buque';
171         definput = {'45'};
172         answer = inputdlg(prompt,dlgtitle,[1
60],definput);
173         answer = str2num(answer{1});
174
175         xrotf =(xroti(:,1).*cosd(-answer))-
(yroti(:,1).*sind(-answer));
176         yrotf =(xroti(:,1).*sind(-
answer))+(yroti(:,1).*cosd(-answer));
177
178         fig2 = figure(2);
179
180         trisurf(trip.t,xrotf(:,1),yrotf(:,1),C(:,1).*0);
181         view(0,90)
182         axis equal
183         shading interp
184         title('ORIENTACIÓN DEL BUQUE')
185
186         ReO = questdlg('¿Quiere definir una nueva
orientación del buque?',','Si','No','[]');
187         end
188         Orient = answer;
189         CoordOrient = [xrotf yrotf];
190     end
191
192     close all
193
194     disp(['--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora
',num2str(i),' de ',num2str(length(t))])
195     %     progressbar(i/length(t),0,['Hora ',num2str(i),'
de ',num2str(length(t))])
196
197     disp(['----> Oleaje fecha leída:
',datestr(tt(i),'yyyymmddHH'),' ; fecha creada
',datestr(t(i),'yyyymmddHH')])
198
199     if size(lonn,2)==1
200         [xxn, yyn]=meshgrid(lonn,latn);
201     else
202         xxn=lonn;
203         yyn=latn;
204     end
205
206     Hm0=nc_varget(url_ih_n,'VHM0');
207     Tp=nc_varget(url_ih_n,'VTPK');
208     Tm=nc_varget(url_ih_n,'VSMC');
209     Dp=nc_varget(url_ih_n,'VMDR');
210     Dm=nc_varget(url_ih_n,'VMDR');
211
212     Hm0i=(interp2(xxn,yyn,Hm0,lon0,lat0));
213     Tpi=(interp2(xxn,yyn,Tp,lon0,lat0));
214     Tmi=(interp2(xxn,yyn,Tm,lon0,lat0));
215     Dpi=(interp2(xxn,yyn,Dp,lon0,lat0));
216     Dmi=(interp2(xxn,yyn,Dm,lon0,lat0));
217     e = 2;
218
219

```

```

220
221
222         %% GUARDAR RESULTADOS
223         RES{i+1,1} = datestr(tt(i), 'yyyymmdd');
224         RES{i+1,2} = datestr(tt(i), 'HH');
225         RES{i+1,3} = tt(i);
226         RES{i+1,4} = Hm0i;
227         RES{i+1,5} = Tpi;
228         RES{i+1,6} = Tmi;
229         RES{i+1,7} = Dpi;
230         RES{i+1,8} = Dmi;
231         RES{i+1,9} = lat0;
232         RES{i+1,10} = lon0;
233         %         RES{i+1,9} = MMi;
234     end
235
236 end
237
238
239     RES2=cell2mat(RES(2:end,3:end));
240     Lim = [min(latn) max(latn);min(lonnn) max(lonnn)];
241
242 end
243
244

```

#### 2.6.1.3 Consulta Catálogo

```

1     function [INPUT_CASE,Casos] = OpenCat(answer,RES)
2     %% Se cargan los datos necesarios
3     ruta_load = [pwd, '\DATOS\'];
4     load([ruta_load, 'p_utm.mat']);
5     load([ruta_load, 'MAPAS_BAJA_din_Hs.mat']);
6     load([ruta_load, 'input_norte.dat']);
7     load([ruta_load, 't.mat']);
8
9     % Se descartan los datos que no van a utilizarse.
10    INPUT_TOT = input_norte(:,1:3);
11    % Se rotan las coordenadas para alinear el buque con el norte
    como inicio.
12    INPUT_TOT(:,3) = INPUT_TOT(:,3)+270;
13    % La primera columna (Amplitud) se multiplica por 2 para tener
    H.
14    INPUT_TOT(:,1) = INPUT_TOT(:,1).*2;
15
16    % Se guarda H, T y la dirección modificada en función de la
    orientación del
17    % buque para el caso en concreto.
18    INPUT_CASE = [INPUT_TOT(:,1:2) INPUT_TOT(:,3)+answer];
19    % Se corrigen los datos por encima de 360°.
20    PosExc = find(INPUT_CASE(:,3) > 360);
21    INPUT_CASE(PosExc,3) = INPUT_CASE(PosExc,3)-360;
22
23    %% EMPAREJAMIENTO DE LA PREDICCIÓN CON EL CASO MÁS SIMILAR DEL
    CATÁLOGO.
24    %
25    for i = 1:size(RES,1)
26
27        H = RES(i,2);
28        T = RES(i,3);
29        Dir = RES(i,6);

```



```

30
31     if Dir < INPUT_CASE(1,3) && Dir > INPUT_CASE(37,3) ||...
32         Dir > INPUT_CASE(1,3) && Dir > INPUT_CASE(37,3) &&
INPUT_CASE(1,3) < INPUT_CASE(37,3) ||...
33         Dir < INPUT_CASE(1,3) && Dir < INPUT_CASE(37,3) &&
INPUT_CASE(1,3) < INPUT_CASE(37,3)
34
35         Opt1 = abs(INPUT_CASE(1,3)-Dir);
36         Opt2 = abs(INPUT_CASE(37,3)-Dir);
37
38         if Opt1 + Opt2 ~= 180
39             Opt1 = abs(180-Opt2);
40         end
41         if Opt1 + Opt2 ~= 180
42             Opt1 = abs(INPUT_CASE(1,3)-Dir);
43             Opt2 = abs(INPUT_CASE(37,3)-Dir);
44             Opt2 = abs(180-Opt1);
45         end
46
47         Opt = min(Opt1,Opt2);
48
49         if Opt == Opt1
50             Dir = INPUT_CASE(1,3)+Opt1;
51         else
52             if INPUT_CASE(37,3) == 0
53                 Dir = 360-Opt2;
54             else
55                 Dir = INPUT_CASE(37,3)-Opt2;
56             end
57         end
58     end
59
60     if Dir > 360
61         Dir = Dir-360;
62     end
63
64
65     if H <= 1.25
66         Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.25 &
INPUT_CASE(:,1) <= H+0.25...
67         & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
T+4.5 ...
68         & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
Dir+5);
69
70         if Dir+3 >= 360
71
72             Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.25 &
INPUT_CASE(:,1) <= H+0.25...
73             & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
T+4.5 ...
74             & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
(Dir+5));
75         end
76         if Dir-2.5 < 0
77             Dir = Dir + 360;
78             Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.25 &
INPUT_CASE(:,1) <= H+0.25...
79             & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
T+4.5 ...

```

```

80         & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      (Dir+5));
81         end
82
83         elseif H > 1.25 && H<=1.5
84             Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.5 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+0.5 ...
85             & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
86             & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-2.5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      Dir+2.5);
87
88             if Dir+2.5 >= 360
89                 Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.5 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+0.5...
90                 & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
91                 & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      (Dir+5));
92             end
93             if Dir-2.5 < 0
94                 Dir = Dir + 360;
95                 Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.5 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+0.5...
96                 & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
97                 & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      (Dir+5));
98             end
99
100         else
101             Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-1 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+1 ...
102             & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
103             & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-2.5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      Dir+2.5);
104
105             if Dir+2.5 >= 360
106                 Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.1 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+1 ...
107                 & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
108                 & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      (Dir+5));
109             end
110             if Dir-2.5 < 0
111                 Dir = Dir + 360;
112                 Pos = find(INPUT_CASE(:,1) >= H-0.5 & INPUT_CASE(:,1)
      <= H+1 ...
113                 & INPUT_CASE(:,2) >= T-4.5 & INPUT_CASE(:,2) <=
      T+4.5 ...
114                 & INPUT_CASE(:,3) >= Dir-5 & INPUT_CASE(:,3) <=
      (Dir+5));
115             end
116         end
117
118         %% De todos los casos compatibles, únicamente se selecciona
      el más similar.
119
120         if size(Pos,1) > 1

```

```

121         cont = 1;
122         for m = 1:size(Pos,1)
123
124             DifH = abs(H-INPUT_CASE(Pos(m),1));
125             DifT = abs(T-INPUT_CASE(Pos(m),2));
126             DifDir = abs(Dir-INPUT_CASE(Pos(m),3));
127
128             Diferencias(cont,1) = [DifH+DifT+DifDir];
129             cont = cont+1;
130
131         end
132         PosDif = find(min(Diferencias));
133         Pos = Pos(PosDif);
134     end
135
136
137     CASES_SIM_IN(i,1) = Pos;
138
139 end
140
141 %% Se guardan los resultados:
142
143 Casos = CASES_SIM_IN;
144

```

#### 2.6.4 Puntos de Control

```

1 function [CoordPuntos,H_i,H_m,H_f] =
   PuntosControl(Orient,Casos,CoordOrient)
2
3 %% Se cargan los datos necesarios:
4 ruta_load = [pwd, '\DATOS\'];
5 load([ruta_load, 'p_utm.mat']);
6 load([ruta_load, 'MAPAS_BAJA_din_Hs.mat']);
7 load([ruta_load, 'input_norte.dat']);
8 load([ruta_load, 't.mat']);
9
10 %% Se corrigen los datos cargados en función del caso.
11 INPUT_TOT = input_norte(:,1:3);
12 INPUT_TOT(:,3) = INPUT_TOT(:,3)+270;
13 INPUT_TOT(:,1) = INPUT_TOT(:,1).*2;
14
15 INPUT_CASE = [INPUT_TOT(:,1:2) INPUT_TOT(:,3)+Orient];
16 PosExc = find(INPUT_CASE(:,3) >= 360);
17 INPUT_CASE(PosExc,3) = INPUT_CASE(PosExc,3)-360;
18 Pos0 = find(INPUT_CASE(:,3) == 0);
19 INPUT_CASE(Pos0,3) = 360;
20
21
22 IN_CAT = [INPUT_CASE(Casos,1) INPUT_CASE(Casos,2)
   INPUT_CASE(Casos,3)];
23
24 %% Se calculan las nuevas coordenadas de los puntos de control en
   función
25 % de la orientación del buque para cada caso.
26 x1 = (0.*cosd(-Orient))-(-95.*sind(-Orient));
27 y1 = (0.*sind(-Orient))+(-95.*cosd(-Orient));
28 x2 = (0.*cosd(-Orient))-(-50.*sind(-Orient));
29 y2 = (0.*sind(-Orient))+(-50.*cosd(-Orient));
30 x3 = (0.*cosd(-Orient))-(-5.*sind(-Orient));
31 y3 = (0.*sind(-Orient))+(-5.*cosd(-Orient));

```

```

32
33 %% Se calcula el valor que tiene cada una de esas coordenadas para
    cada
34 % hora de predicción considerando los datos del catálogo.
35 for j = 1:72
36     j
37     H_i(j,1) =
griddata(CoordOrient(:,1),CoordOrient(:,2),C(:,Casos(j)),x1,y1);
38     H_m(j,1) =
griddata(CoordOrient(:,1),CoordOrient(:,2),C(:,Casos(j)),x2,y2);
39     H_f(j,1) =
griddata(CoordOrient(:,1),CoordOrient(:,2),C(:,Casos(j)),x3,y3);
40
41 end
42
43 CoordPuntos = [x1 y1;x2 y2;x3 y3];
44
45

```